

信息革命的技术源流

VISIT…



信息革命的技术源流

2 020 8314 6

宋德生 著

四川人民出版社

一九八六年·成都

责任编辑：聂运华
封 面 画：王贻华
插　　图：洪　凌
装　　帧：盛寄萍

走向未来丛书

信息革命的技术源流

宋德生 著

四川人民出版社出版（成都盐道街三号）
四川省新华书店发行
自贡新华印刷厂印刷

开本787×960mm 1/32 印张10 插页5 字数151千
1986年4月第一版　　1986年4月第一次印刷
书号：17118·147　　印数：1—40,000

定价：1.45 元

《走向未来》丛书顾问

（按姓氏笔划为序）

包遵信　严济慈　杜润生　张黎群　朱一咨
陈翰伯　钟沛璋　侯外庐　钱三强

《走向未来》丛书编辑委员会

主　编：金观涛
副主编：陈越光　唐若昕
编　委：（按姓氏笔划为序）

丁学良　王小强　王岐山　王军衡
王晓鲁　王　焱　尹蓝天　乐秀成
朱嘉明　朱熹豪　刘　东　刘青峰
严家其　何维凌　张　钢　阮芳赋
陈子伶　陈越光　易小冶　金观涛
秦晓鹰　贾新民　翁永曦　唐若昕
陶德荣　黄江南　董秀玉　樊洪业
戴士和

编者献辞

《走向未来》丛书和读者见面了。

她凝聚着我们的心血和期望。

我们期待她能够：展现当代自然科学和社会科学日新月异的面貌；反映人类认识和追求真理的曲折道路；记录这一代人对祖国命运和人类未来的思考。

我们的时代是不寻常的。二十世纪科学技术革命正在迅速而又深刻地改变着人类的社会生活和生存方式。人们迫切地感到，必须严肃认真地对待一个富有挑战性的、千变万化的未来。正是在这种历史关头，中华民族开始了自己悠久历史中又一次真正的复兴。

在艰苦而又富有生命力的改革道路上，我们坚定了马克思主义的信仰，理解了科学的价值，并逐

步深化了对我们时代和民族的认识。今天，我们听从祖国的召唤，热情地投身于实现社会主义现代化的伟大潮流。

马克思有一句名言："思想的闪电一旦真正射入这块没有触动过的人民园地，德国人就会解放成为人。"*今天，照亮我们民族的思想闪电，就是马克思主义、科学精神和我们民族优秀传统的结合，以及由此开始的创新！

《走向未来》丛书力图从世界观高度把握当代科学的最新成就和特点，通过精选、咀嚼、消化了的各门学科的知识，使读者特别是青年读者能从整个人类文明曲折的发展和更迭中，理解中华民族的伟大贡献和历史地位，科学地认识世界发展的趋势，激发对祖国、对民族的热爱和责任感。

她特别注重于科学的思想方法和新兴的边缘学科的介绍和应用；把当前我国自然科学、社会科学，以及文学艺术方面创造性的成果，严肃地介绍给社会，推动自然科学与社会科学的结合。

《丛书》是个新的园地，她将自始至终贯彻严肃认真的学风和生动活泼的文风。

---

* 《马克思恩格斯选集》，人民出版社，1975年版，第1卷，第15页。

《走向未来》丛书，从她一开始就受到老一辈共产党人关怀，受到学术界前辈的热情支持。

约四百年前，弗兰西斯·培根在《伟大的复兴》一书序言中，曾经这样谈到书中描述的对象，他“希望人们不要把它看作一种意见，而要看作是一项事业，并相信我们在这里所做的不是为某一宗派或理论奠定基础，而是为人类的福祉和尊严……。”我们怀着真挚的感情，把这段话献给《丛书》的读者，希望广大读者关心她、批评她、帮助她。

让她成为我们共同的事业。

《走向未来》丛书编委会

一九八三年六月于北京

引　言

信息是宇宙物质和运动（包括人脑的思维运动）的不均匀性的量度。人类在两千多年中从事科学研究，目的是要探测这种不均匀性，即获得自然信息。本世纪以来连续发起的物理学革命、生物学革命以及能源开发、空间开发和海洋开发等等，大大扩展了人的视野。现在人类能够利用信息来获取更多的信息，已经进入了信息革命的时代。我们现在可用先进的技术手段观察上至100亿光年（10^{28}厘米）以外的星体和间接观察下至夸克（10^{-16}厘米）的微观世界，我们的认识横跨了四十四个数量级。这个巨大的数量级正是信息时代人类智慧的象征。

导致信息革命的技术手段主要有现代电信工程、微电子技术、计算机和机器人。

自从马可尼将无线电波送过北大西洋后，人们就看到了这样的前景：以交通传递信息的时代即将过去。第二次世界大战前后的短波无线电通信和微波接力通信、六十年代的卫星通信，已经初步实现了人类这一愿望。然而，这六十年的进展与目前的光纤通信相比又显得十分渺小。我们在前六十年中使用的电通信，只把载波频率提高了六个数量级，而不到十年的光纤通信一下子就把信道扩展到了红外频谱，相对微波通信又提高了四个数量级。现在传递、存贮和处理的信息量平均三年增加十倍，远远超过了“人口爆炸”的速度，这就是常说的“信息爆炸”的通俗含义。

电子技术和微电子技术是现代信息技术的基础。从电子管问世到半导体三极管发明，用了四十余年，而从半导体管到集成电路发明，只用了十一年。最近二十多年集成电路工业的发展，突出地表现了半导体元件小型化的趋势。集成块的集成度（即集成电路上的元件数）平均每年翻番的事实说明，人类开拓技术的能力是按几何级数规律增长的。多少年来人们怀着一种恐惧，害怕人口增长率超过生产力增长率。微电子技术的发展在很大程度上消除了人们的这种恐惧心理。目前，对人类形成最大压

力的是空间，虽然空间无限，我们能够使用的却十分有限。集成电路技术所追求的是无限小的空间，现在的工艺能够在一个集成块上做出几十万个、甚至上百万个元件。元件的线宽已经下降到亚微米的量级。对无限小空间的追求，也就是对速度的追求。过去，电子在电子管里要渡越几厘米的空间才能实现一次操作，而现在载流子只需渡越一微米的距离就能导通电路，速度快了好几百万倍。速度又直接反映信息（或数据）的传输率，从而反映人类能够获得的信息量的大小。微电子技术是可以信赖的，可以通过它来减缓不可再生能源的消费，减少运输的压力，改变社会和产业的结构。总之，微电子技术是以微小的空间来换取世界经济的长期繁荣和稳定。

在人类工具库里除有动力机和工作机外，现在又加入了计算机和机器人两大类。计算机已经使人类由消费能源来维持生存的阶段逐步过渡到使用信息来改善人类与环境之间关系的阶段。现在人们往往把数据处理理解为计算机的基本功能，而将来的第五代计算机将使数据处理的概念变得陈旧起来。我们即将进入由计算机担负"知识处理"的时代。第五代计算机将不仅能够存贮知识，而且还将具有与

人类似的联想、推理和判断的能力，并且还能与人直接对话，执行由人的声音下达的指令。未来的机器人除具有第五代计算机的这些特征外，它还具有工作机的一切功能。

不论是计算机还是机器人，都是以逻辑功能为基础的。一般人认为，人的思维具有逻辑的和非逻辑的形式，往往把直觉划入了非逻辑的范畴。然而，心理学家们实验发现直觉还没有任何不遵循逻辑思维的地方。如果说人的一切思维都不外乎于逻辑思维，那么计算机、机器人在知识处理方面与人没有根本的区别。如果说计算机和机器人永远无法达到人的智慧水平，就得证明人的慧有非逻辑形式的思维。由此可见，计算机和机器人的发展必将超出纯技术的范畴，必将推动社会学、思维科学和哲学的发展，将会使科学技术问题与社会科学更紧密地结合起来。

笔者试图以技术发展的史实为素材，间或阐述若干关于技术与社会、技术与经济、技术与人，以及技术与哲学的关系，愿以未尽正确但起非陈思的观点就教于本书的读者。

目　录

引　言……1

第一章　在第二次世界大战前……1～50

1-1 电气工程的遗产 …… 3

1-2 打通大西洋上空的通道 …… 10

1-3 “四军”协同作战 …… 16

1-4 生活潮流的引导者 …… 21

1-5 让每个家庭都有“影剧院” …… 25

1-6 西向转移 …… 30

1-7 巴比吉的子孙 …… 44

第二章　在第二次世界大战中……51～88

2-1 用工程创造的神话必须用工程来粉碎 …… 53

* * *

2-2 戈林元帅受到“神经性”武器的打击 …… 59
2-3 弹道计算的需要 …… 74
2-4 为着三千万个家庭 …… 81

第三章 在战后分离元件的时代……89～146
3-1 “蓝色香蕉” …… 91
3-2 横跨四十四个数量级 …… 103
3-3 第一代计算机 …… 111
3-4 1947年圣诞节礼物 …… 127
3-5 由面包铺里杀出半导体公司 …… 139

第四章 承上启下的年代……147～208
4-1 鹰已着陆 …… 149
4-2 由第二代到第三代 …… 158

*　　*　　*

4-3 一项同时发明 ……164
4-4 莫尔预言 ……171
4-5 美国挑战 ……175
4-6 西欧困境 ……182
4-7 日本应战 ……189
4-8 加州版图上一块中规模“集成电路” ……196

第五章　由大规模到超大规模……209～252

5-1 由4位到32位 ……211
5-2 超大和超微的结合 ……220
5-3 超大规模集成电路的国际之战 ……225
5-4 现在是“冯·诺伊曼”第四代 ……239
5-5 由微机到“危机” ……245

*　　*　　*

第六章　新概念与新结构……253～300

6-1 信息与消费的结合 ……255

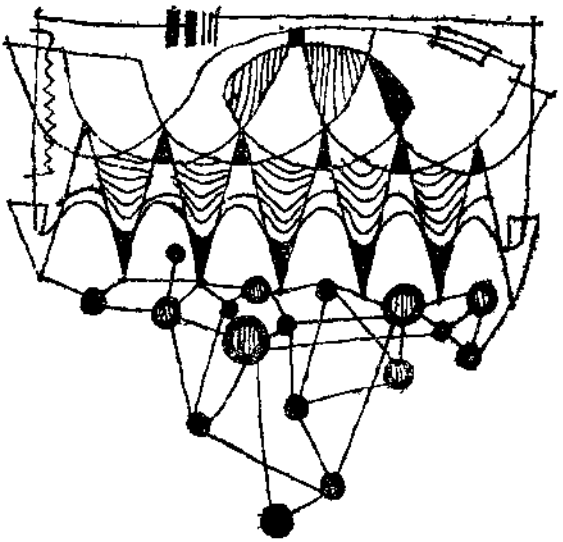
6-2 天上地下金三角 ……266

6-3 奔向第五代 ……273

6-4 罗伯特制造罗伯特 ……278

6-5 通向未来的信道 ……291

结 束 语……301



第一章

在第二次世界大战前

1-1 电气工程的遗产

从十九世纪八十年代起，电气工程技术开始打入了工业市场。电弧灯代替燃气灯，照亮了西方各大城市的街道；白炽灯的出现，又给千家万户带来了光明。发电机、电力变压器，加上水轮机，就在一百年前创造出一个崭新的工业——电力发配工业。电气工程技术把以蒸汽为动力的西方工业社会推进到以电力为主要动力的阶段。电报和电话，又给这个社会增加了两种重要信息手段。它们出现于高度集中化的时代，而它们的历史作用则是使这个社会的集中化特点下降到相对次要的地位。它们将是联系社会各阶层和个人的纽带，是最早出现的通向未来信息社会的两个助跑器。

历史上有些事似乎不可理解，如在电子发现之前就有人造出了“电子”一词。电报也是这样，在它诞生前四十年，法国人夏普（C.Chappe）就造了“电报”一词；不过夏普的 telegraph 一词中不含有电的意思，而仅指“远方的信息”。

人类第一个实验电报机是德国人韦伯(W.Weber）和高斯（K.F.Gauss）在1832年发明的。他们曾在哥廷根大学建立了9,000英尺长的电报线，用以沟通该校物理实验室和天文台。1837年，英国人惠斯通（C.Wheatstone）和库克（W.F.Cooke）发明了五针电报机；两年后他们就在帕丁顿和西德累斯顿之间架起了第一条商用电报线。

1844年，美国人莫尔斯（F.B.Morse）发明了莫尔斯电码，并在华盛顿——巴尔迪摩电报线上传递了第一个用莫尔斯码编码的电报信号——“上帝创造了何等奇迹！”莫尔斯电码是人类第一种表达信息的共同语言，是一种超越民族特点的语言。

1866年，这是值得永远纪念的一年。英国物理学家开耳芬爵士指挥“大东方号”铺设成功第一条大西洋海底电报电缆。从此，电信号就把北美洲和欧洲联系了起来。

电报与电话相比，不论在原理上还是技术上，

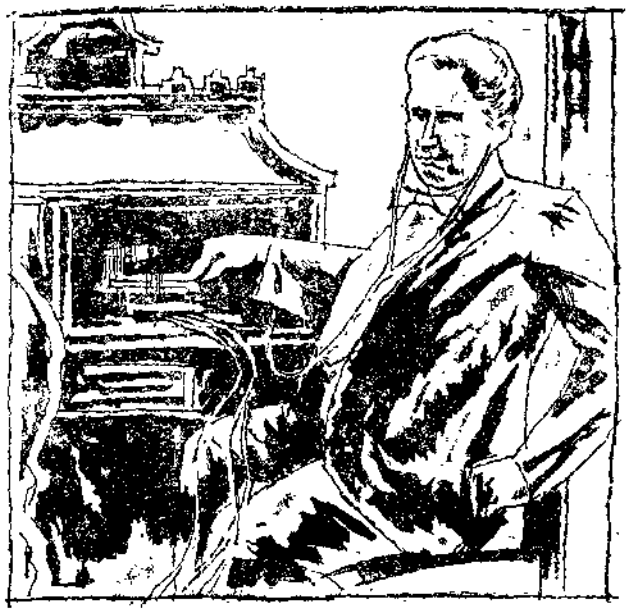
都要简单一些，所以电报技术较早地发展起来。事实上，电话是电报的间接产物。贝尔（A.G.Bell）受到斯特恩斯（J.Stearns）双工电报（1872）的影响，想通过音频载波的方法来发展多工电报，因无法设计出分频电路而转向了声-电-声的传递，结果发明了电话。1876年6月25日，他在美国独立百年纪念的费城博览会上展出了他的电话机，举世为之一震。同年，格雷（E.Gray）也发明了电话。他们两人曾为优先权打过官司，又各自创立了自己的公司——贝尔电话公司和西方电气制造公司。这两个公司又分别是贝尔电话实验室和西方电气公司的前身。

电话的发展很快就超过了电报，原因在于电话可以进入家庭，而电报却不能。这是由于电话不需要“软件”，而电报则需要“软件”——莫尔斯电码。对于大多数人来说，要掌握莫尔斯电码总是不太容易的。另外，信息需要有情感的支持，经过翻译的电报总不如语音的直接交流那样富于情感。由于这种原因，电话得到了普及。据美国电话电报公司统计，1976年全世界已经拥有3.796×10^8部电话机，超过50万台的国家达42个，其中美国有1.49亿台，日本有45,514,709台，英国有21,035,602台，

苏联有16,949,000台。

在世界总资源中，人的时间是极为宝贵的。人类需要增加活动时间，期待发明家给黑夜带来光明。1808年，人们看到了一线希望，戴维（H.Davy）用电池产生了第一道弧光。1844年，当手调碳极电弧灯照亮巴黎大剧院时，人们的心情是何等激动！1858年，法拉第（M.Faraday）用霍尔姆斯（F.H.Holmes）发明的直流发电机点燃了南福尔兰岛（South Foreland）上的灯塔，给海员们带来了福音。截至此时，电弧灯已经点亮了伦敦维多利亚河堤、巴黎的广场和柏林的大街，燃气灯终于逊位了。但电弧灯也好景不长，白炽灯象电弧灯曾经冲击燃气灯那样，冲击起电弧灯来。爱迪生在1879年10月19日使第一盏碳丝灯发光，它连续发射了45小时光芒。爱迪生因此获得美国第4576号专利。1880年，英国发明家斯万(W.Swan)又获得了U-型碳丝灯专利。白炽灯潜在之势，在于它可以给千家万户带来光明，它可以属于公用，也可以属于私有，而电弧灯却是不能进入家庭的。这种关系，正如电话和电报的关系、微处理机和大型计算机的关系一样。

随着电光源的发展，发电站出现了。世界上第



爱迪生

一个发电站是1881年10月竣工的英国哥达明（Godalming）水力发电站，它是直流发电站。1882年，世界上第一个火力发电站在英国霍尔伯恩·维阿达特（Holburn Viaduct）竣工，它也是直流发电站。在电力史上，交流发电比直流发电大约晚了十年。1885年，匈牙利人吉伯劳斯基（C.Zipernowski）、伯拉迪（O.Blathy）和德里（M.Deri）发明了电源变压器（ZBD），德里又单独发明了配电变压器。同年，英国人高拉德（L.Gaulavd）和吉布斯（D.Gibbs）也发明了电力变压器。接着，威斯汀豪斯电气公司的工程师萨伦伯格（O.B.Shallenberger）发明了交流电流表。同年5月，美籍奥地利人泰斯拉（N.Tesla）设计出三相交流电动机。所有这一切发明，为交流电发配准备了必要的条件。

当时，理论上业已证明，高压交流发配电比直流发配电更为经济，可以节约大量铜材。然而，以爱迪生为代表的一些发明家却提出另一种观点：交流电比直流电更危险。他们全力反对实行交流电发配。这样就爆发了以爱迪生电灯公司为一方、以威斯汀豪斯电气公司为另一方的长达十余年的直流电论和交流电论的大论战。历史最后证明，交流电论

者取得了胜利。促使局势扭转的一个外部原因是铜材价格猛涨。法国自从1887年起就垄断了西方冶铜工业，他们把铜的价格从1886年的每磅9法郎提高到1887年的10法郎，继而又提高到20法郎。1891年，世界上第一个三相交流发电站在德国的劳风堰工，它是苏黎世奥厄利空公司总工程师布朗（C.E.L.Brown）设计的，以三万伏高压电向法兰克福输送电力。1893年，美国第一个水电枢纽工程——尼亚加拉瀑布工程与威斯汀豪斯电气公司签订了交流发电机合同，宣告爱迪生公司败北。1896年，该水电系统开始向22英里外的布法洛输送11,000伏三相交流电。交流电发配制很快就代替了直流电发配制。用户越来越乐意使用较为廉价的交流电。就连美国奥伯恩监狱在1896年8月6日最先使用电刑时，也是用的交流电。

自1892年后，爱迪生失去了对电力工业的支配权。他为了应付威斯汀豪斯公司的挑战，在1892年批准爱迪生通用电气公司与汤姆孙—休斯顿公司合并，结果导致了至今还赫赫有名的通用电气公司（GE）的诞生。

电力拖动技术大约也是与电力发配工业同时诞生的。这一领域的最早探索者是大西门子（W.von

Siemens）。他曾在1856年发明纵向槽梭绕式电磁定子发电机。1879年，他为柏林贸易商会设计出世界上第一条小型电铁。1883年，在英国出现了两条电铁，其中一条是巨人公路公司兴建的，它实际上是世界上第一条有轨电车道。原采用三轨制，一轨用来输电，另两条铁轨是机车的道轨，兼作电的回路。1889年，该公司将铁轨输电方式改进为悬线输电方式。

1887年，被誉为有轨电车之父的斯布拉格（F. J. Spraque）在美国弗吉尼亚州的里希蒙德建造起美国第一条有轨电车道路。他在马达变速器和输电结构上作了重要改进。今日的有轨电车是在他的蓝图的基础上发展起来的。

所有这些成就，都为二十世纪的电信、电气和电子工业奠定了基础，训练和储备了技术力量。

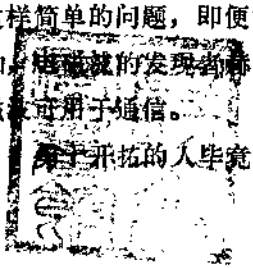
1-2 打通大西洋上空的通道

在英文字典中，Communication有两个基本含义：一是通信，二是交通。今日看来，这两个含义所表示的意义截然不同；但在电信技术诞生之

前，通信离不开交通，因而这种合二义于一词并不令人费解。自从电信技术诞生后，英文字典中就出现了一个新词 ——telecommunication（电信），用来专指通过电学手段实现的信息传通。1970年，美国国家工程科学院（NAE）电信委员会给出了“电信”的明确定义：

“电信是通过使用有线电、无线电、光学，或其他包括有涉及到处理和存储方式的电磁系统所进行的符号、信号、图象、声音或任何性质的情报的传递、发射或接收。”

电信技术是最节省能量或资源的技术，这里包括对时间的节约。当电报电缆通过北大西洋时，人们就看到了电信技术的优点，人们不必因一点小事去漂洋过海，也不会再有因信息姗姗来迟而产生的苦恼。无线电比有线电具有更大的魅力，它不需要庞大的传输系统，不需中继，而能在大气和电离层中传输。地球周围的大自然已经为我们准备了这些天造地设的条件。然而，并不是所有人都能认识到这样简单的问题，即便许多大科学家也不例外。例如，电磁波的发现者赫兹（H.Hertz）就不认为电磁波可用于通信。



勇于开拓的人毕竟出现了，英国人洛奇（O.

Lodge）在1894年（赫兹去世的一年）最先发现赫兹振荡器可用来发射无线电波。英国海军军官杰克逊（H.B.Jackson）在1895—1896年间最先在海上进行了无线电电报实验。这些开创性的努力，却又因马可尼（G.Marconi）的成就而显得逊色。马可尼在1895年夏天在意大利进行了首次无线电报实验。在他的发射机中有一个与天线直接相连的火花隙，还有一个与电源串联的莫尔斯键盘。在他的接收机中有一个粉末检波器（法国人布朗利在1891年发明的），一个声码器，一个天线和一组电池。在这次实验中，他把无线电报信号送到了一英里半以远的地方。

1896年2月，马可尼带着他的无线电报机到了英国，6月2日向英国专利局申请了无线电报专利。第二年，成立了“无线电报和信号公司”（1900年改名为“马可尼无线电报公司”）。不久，马可尼就在布里斯托尔海峡两岸、在普耳到怀特岛之间开展了无线电报业务。他在普耳等地使用了具有调谐回路发报机，一改过去直接用火花隙发射信号的方法，将它并入调谐回路，再通过一个变压器将信号耦合到天线上发射出去。

1900年，马可尼在英格兰康沃尔半岛上的普尔



马可尼

都建立起一座功率为25马力的发射站。翌年他就横渡大西洋，到纽芬兰建立一个临时接收站，用风筝将天线放入高空。是年12月12日，他第一次收到了从英国发来的电报信号，其波长为2000—3000英尺。

马可尼是受德国斯特拉斯堡大学教授布劳恩影响才引进调谐回路的。布劳恩（F.Braun）在1898年也发明了无线电报。他的电报机最先具有调谐回路，他也是最早使用方向天线的人。马可尼借鉴布劳恩的技术改造自己的电报机，并于1900年再度申请英国专利，该专利是第7777号，即历史上著名的"四七"专利。可以这样说，如果马可尼不采用布劳恩的技术，他是无法将无线电信号送过大西洋的。由于这种原因，他与布劳恩在1909年共享诺贝尔物理学奖金。

布劳恩和斯拉比（A.C.H.Slaby）在1903年创立"无线电报公司"，该公司后来改名为德律风根公司（Telefunken）。第一次世界大战爆发后，英国切断了德国在海外的电报电缆，德国唯一能使用的电信机构设在美国长岛塞维叶（Sayville）。布劳恩受命前往处理电信业务。从此他一直留在美国。直到1918年在那里去世。

在无线电史上还有一位我们所熟悉的人物，他

就是波波夫（A.S.popov）。波波夫在1895年春发明了一种风暴预警仪，它实际是一个强电磁接收器。电磁波由风暴或雷电产生，从远方传来，导致粉末检波器导通，使电铃作响。是年5月7日，波波夫在俄罗斯物理—化学学会上作了表演。1896年1月，他公开发表了题为《检测和记录电振荡的装置》的论文，文中写道："……我的仪器只要进一步完善，就可以在高速电振荡帮助下用来作远距离的信号传递"。这就表明，在此以前他还没有进行无线电信号传输，而只是进行了电磁波的接收。1896年3月24日，他再次在俄罗斯物理—化学学会上表演，但没有发表这次实验的报告。

1900年，波波夫在喀琅斯塔得港建立了一个无线电台修造厂，但未得到重视。相反，在1904—1905年的日俄战争中，沙皇政府宁肯为海军购入德国的无线电报机，这些电报机是按照布劳恩和马可尼的蓝图生产的。

十月革命后，苏联才极为重视波波夫的成就。在1925年纪念波波夫风暴预警仪诞生30周年之际，苏联政府为争夺优先权发动了第一次宣传攻势。苏联度量衡局负责人伽贝尔给英国《无线电世界》的一篇文章指出：波波夫在1895年5月7日发明了无线

电报。编辑部向他索取参考文献，他无法提供，不得已将实验日期改为1896年3月24日。伽贝尔的作法显然不能令苏联政府满意。尽管1896年3月24日比马可尼申请第一个专利的日子早三个月，但波波夫没有发表这次实验的内容，而西方人已经公认马可尼在1896年2月就带着他的无线电报机到了英国，并得到英国邮政总局的资助。在双方都还没有文字记载的情况下，对苏联人来说，自然取1895年5月7日为上策。因为马可尼迟至1895年6月才开始第一次实验。苏联政府在1945年纪念波波夫发明50周年时就单方面向世界宣布：1895年5月7日是无线电诞生日，每年5月7日将是苏联无线电日。这个日子对我国现在的中年人来说也并不陌生，五十年代的青少年曾热情地庆祝过它，以至把波波夫当作了无线电的代名词，而对马可尼了解不多，甚至还不知道有一位布劳恩。

1-3 “四军”协同作战

历来的战争，都是在不同的阶段、不同的民族，或不同的政治集团之间的信息通道急剧变狭的

情况下爆发的。这里说的是思想信息或思想通道。从纯战争的角度来说，任何军事集团中的信息的有效流通，则具有催化战争和加速战争结束的作用。在无线电信技术诞生后，西方军事家们业已发现，未来的战争将在海、陆、空和信号的“四军”协同作战基础上取得胜利。无线电话、特别是机载无线电话在第一次世界大战中所起的作用证明了军事家们的这种预言。

最早发明无线电话的最美籍加拿大人费森登（R.A.Fessenden）。他还曾发明过电解质检波器。马可尼在1901年于纽芬兰使用的收报机中就装有这种检波器。迟至1912年还有人将电解质检波器装在收报机中，用气球将收报机放入高空进行无线电报实验。1906年，费森登在麻省布兰特·罗克建立了第一个无线电话站，他用麦克风调制亚里山德逊射频发电机产生的高频电流，在这一年圣诞节前夕发射了第一个无线电话信号，几个陆上接收站和一个海上接收站收到了他的信号。

无线电话的第二位开拓者是真空三极管发明人德·弗雷斯特（Lee de Forest）。他在1907年在纽约市、1908年在巴黎埃菲尔塔上，发射了无线电话信号。虽然他在1906年发明了真空三极管，但这

个三极管几乎不能放大信号，所以他的无线电话机中没有使用真空三极管。他的发话机类似于马可尼的发报机，只不过用麦克风代替了电报机中的莫尔斯键盘。

真空三极管迟至1912年才用于无线电话机。在这一年，德·弗雷斯特发明了再生电路，利用正反馈技术使音频信号放大到可以接收的程度。1914年，美国通用电气公司研究实验室在斯克尼克塔迪和匹兹堡进行了大规模实验。他们的发射机使用二千瓦亚里山德逊射频发电机作电源和载波发生器，而在接收机中使用了真空管再生放大电路。他们监听到美国政府通过设在长岛塞维叶的德国电台命令德国船只撤离美国的通知，从而最先得知第一次世界大战爆发了。

在无线电报信号飞越北大西洋上空后的14年（即在1915年），无线电电话也通过了北大西洋上空。那是在美国弗吉尼亚州的阿林顿和巴黎之间进行的实验，发射机和接收机都使用了真空管再生电路。

人们通常认为第一次世界大战是一场化学战，第二次世界大战是一场钢铁战。如果从电子技术的角度来考虑，前者又是一场电信技术战，而后者是

一场雷达战。在第一次世界大战中，美国信号军团在法国战区架设了1,340公里的电报和电话线路，通信电缆和导线总长达3万英里。这些导线由五个重要海港辐射出来，象蜘蛛网一样布满着法国战区。然而，这只是陆军所能享用的，空军和海军必须寻找新的通信方式。机载无线电话由此在第一次大战中应运而生。

大战爆发前美国空军已着手研究机载无线电话技术。1910年8月，美国空军在长岛基地第一次向地面发射了无线电报信号。在瞬间万变的空战环境中，没有一个飞行员能熟练地操作莫尔斯电码，使用空军专用电码更为困难。这就提出了把无线电话装在飞机上的要求。

第一次世界大战爆发后，斯奎厄（G.O.Squier）率美国信号军团到达法国。这位曾在美国和西班牙的战争中使用有线电信技术而大显神通的工程师兼将军，决心把无线电话机装到协约国的飞机上。1917年5月22日，他召集军事科学首脑会议，要求美国工程师们从速设计出机载无线电话。在不到六个星期的时间里，美国就生产出了样机，并在弗吉尼亚州朗格雷空军基地进行了飞机联合作战演习。接着，他们在门罗用机载无线电话指挥炮兵轰

击目标，演习取得成功。1918年2月，美国就生产出SCR-67和SCR-68型机载无线电话机。此后，协约国空军就将空中单机作战的战术推进到群机作战和空-地协同作战的阶段，加速了德军的失败。

机载无线电话的意义超出了纯技术的范围，它的出现使得十九世纪经典战争理论变得陈旧起来。法国最著名的军事家拿破仑曾给他的将校们下达指示：第一，脱离主体的军团不应服从总司令部的指挥；第二，各级指挥官应当发挥独立的判断，而不应当绝对服从皇帝和战争部长的指令。德国著名军事理论家克劳斯维茨（Karl von Clausewitz）也认为：取得战术胜利的真正方式，是只给各级指挥官指出他们的部队前进的方向。就是说只要“指出敌人即目标和胜利即目的”就行了。这些军事理论在电信技术不发展的时代是正确的，而在电信技术的时代就显出了它们的局限性。在分秒必争的时空四维争夺战中，战斗胜利不能仅仅依靠战斗员的勇猛、果敢来取得，而更依赖于最高司令部对整个战役各作战兵种的适时指挥。在电信技术发展的时代，部队所攻击的目标不再是静止的或运动缓慢的目标，司令官无法在战斗前就一成不变指明部队前进的方向，他们必须随时作出战斗计划的修改，并

以光一般的速度不断发出新的指令；同时，战斗部队也要以光的速度将前敌情况反馈回指挥部。第一次世界大战中诞生的机载无线电话，不仅有效地发挥了空间立体战斗的作用，而且积极地协同了海、陆、空三军，从这种意义上来说，第一次世界大战创造了“四军”协同作战的新概念，这第四军就是“信号军”。

1-4 生活潮流的引导者

由无线电话到无线电广播只有一步之差，这个差别如此之小，以致许多人（甚至历史学家）把无线电话诞生之日当作了无线电广播诞生之日。后者区别于前者的地方，在于它是一种单向性、广面积的业务。电话和广播的关系正如书信和报刊的关系一样。

为了实现无线电广播，就得有收音机抛售于市场；随着，政府就得对广播频率作出恰当的安排。就前一条件而言，技术突破是决定性的。自从1912年产生再生电路后，基本条件已经具备，但还不成熟。当朗谬尔（I.Langmuir）设计出可供直接放

大信号的真空三极管（1913）后，热心于广播事业的人就看到了新的前景。然而音质问题又提出了新的挑战。人的耳朵是仅次于眼睛的最敏感的器官，如果说人通过视觉形成空间图象的话，那末，人就是通过听觉来感知时间。混沌的图景会使人感到倦怠，而杂音和噪声则使人坐卧不安，大有时间流逝之感。人们与其把时间花在听那些被扭曲的音乐之上，还不如去听听大海的呼啸、婴儿的啼哭。当然，生活总是人的第一需要，人类不能永远停留在原始的生活水平上。收音机既然已在科学家和业余爱好者的家里制造出来，就应当使它商品化、走向市场。在这个时候最能感知生活力量的人，是阿姆斯特朗（E.H.Armstrong），他在1918年发明了超外差收音机。其次就是贝尔电话实验室的布赖克（H.S.Black），他在1927年发明了负反馈电路。这些技术保证了无线电广播变成一种人们乐意接受的生活内容。

现在很难说清有节目程序的无线电广播是从什么时候开始的，因为它们与企业家的商业广播有过一段相互交叠的阶段。最早的商业无线电广播始于1920年，美国底特律、旧金山、匹兹堡和纽瓦克几乎同时开展这项业务，在他们的商品广告中不时插

人一些重要新闻，开始向报界提出了挑战。如在1920年，匹兹堡广播电台超前于报纸报导了哈丁（Harding）总统的选举情况。

1922年2月14日，英国广播公司（BBC）的前身埃塞克斯郡里特勒山广播电台在英国也开始了无线广播试播，取得成功。英国政府就批准他们从1923年1月18日起，在全英国境内开展正式广播业务。

据美国商业部统计，截至1929年7月，美国已有收音机9,500,000台，一年后就增加到13,500,000台。到了1935年，美国二千九百万个家庭已有60%拥有收音机。随着收音机大批量生产，价格在迅速下降。在1927年，平均每台收音机值124美元，1929年下降为110美元，1930年再次下降为80美元。在美国大萧条来临前的1929年，平均每个工人每星期的工资为30美元，他们花一个月的劳动就能买上一台收音机。我国目前情况大概也是这样。这仅是就工资和收音机价格之比来说的。在其他高消费方面我们还比不上美国的1929年，因为他们当时的小汽车价格大约是600美元，只需付出20个星期的劳动就能买上一部。这个事实说明，推行压价政策是开拓市场的有效手段。反之，如果不适当地鼓励提

价，这样做势必把市场冻结起来，影响自身的发展。

自从无线电话诞生以后，人们已经感到频道拥挤，因为当时大家都使用中波通信。1915年，美国电话电报公司的卡逊（J.R.Carson）提出了单边带传输原理。他证明，利用单边带传输信号既可节省频带，又可节约功率。解决频道拥挤的另一途径，是向短波通信进军。然而，当时不论美国还是英国都把200米波长以下的频谱划给了业余爱好者。1921年12月，奇迹出现了，美国业余爱好者用200米波长进行广播，英国的业余爱好者收到了他们发出的信息。短波的禁地从此打开了，这时的频率已比马可尼时代的高了一个数量级。

无线电技术的另一项重大突破发生在1930年。阿姆斯特朗在这一年提出了宽带调频原理，指出了克服噪声的方向。1935年4月，他在纽约帝国州立大厦上同时发射调频信号和调幅信号，并在新泽西州哈顿菲尔德的他的实验室里进行试收，结果发现，调幅信号已被噪声所淹没，而调频信号十分清晰。阿姆斯特朗的理论与卡逊在1924年的理论相冲突。卡逊曾用正确的方法不适当地处理了信噪问题。他的结论是：调频方式不可能克服噪声，“噪声象贫穷一样，将永远伴随我们”。事实证明卡逊错了。截

至1939年11月，美国已建有五座调频广播电台。两年后，英国也开始了调频无线电广播。

在无线电广播诞生和早期发展的年代，还产生了如下重要的发明和技术：高频感应加热炉(1918)，时基电路（1919），双稳态电路（1919），载波电话，无线电船舶导航，真空四极管（1927），真空五极管（1929），真空六极管（1933），五栅管（1933），橡实管（1933），铁壳管（1936），海尔（O.Heil）场效应管(1935)，有声电影(1929)，液晶(1934)，电子显微镜(1935)，波导管(1936)，等等。特别重要的是法国人里维（R.H.Reeves）提出脉码调制技术（PCM）。他为现代数字通信奠定了基础。

1-5 让每个家庭都有“影剧院”

电视广播比无线电广播晚了5—7年。当机电扫描式电视在英国（1925）和美国（1927）公开播映时，人们不禁为这位不速之客的到来感到惊叹。人类既然能将声音变成电信号又还原成声音，那么自然会期望将图象也进行这样的转换。前者是信息流随

时间的运动，而后者就不是这样简单。一幅图画占有空间，却没有人认为它占有时间，何以使它也象声音那样流动起来呢？多少人的努力都没有得到预期的效果，人们有些失望了。可是，生理学家们的一个小小的实验却透来一线光明。他们指出，人眼虽然是最敏感的器官，但它们也会被一些假象所蒙骗的。例如，一个高速振荡的小球，它在人眼中的映象就不再是一个小球，而是一条直线(或弧线)。这一视觉原理提示技术家们去将一幅图象转化为一组随时间而传递的电信号。

最先依据这个原理来设计电视的是尼普科夫（P.Nipkow），他在1884年就设计出一套机电扫描电视的蓝图，一种圆盘的周围等距分布着24个小圆孔，它们组或一条螺线，最外缘的孔与最内边的孔的距离之差，等于电视图象的高。当圆盘旋转时，每个小孔从图象上扫描出一条直线；这样，一幅图象就由24条扫描线组成。每条扫描线又连续投射到光电池上，转化为电信号。他所设计的接收机中也有一个这样的圆盘，不过整个过程反转过来，即由电信号转换为光信号。由于技术条件的限制，他未能制造出硬件；但是，尼普科夫圆盘被后人承袭下来，成为后来的机电扫描式电视机的一个重要

部件。1924年，英国人拜尔德（J.L.Baird）最先研制成功机电扫描黑白电视机，并于第二年进行试放。1927年，美国“贝尔人”伊弗斯（H.Ives）和通用电气公司的亚里山德逊也进行了机电式黑白电视的试播。

1928年，拜尔德在英国首次进行了机电式彩色电视试播。他的摄象机有三个摄象管，分别摄取三基色（红、绿、蓝）的图象。这种显象管中有一个改进的尼普科夫圆盘，该圆盘上有三套小圆孔，各占圆周三分之一，每套圆孔仍然按螺旋线排列。当圆盘旋转一周后，三基色的图象就按场顺序地投影在屏幕上。由于速度极快，三基色图象就混合成自然色的图象。拜尔德提出的彩色电视场序制扫描原理，后来就成了美国哥伦比亚广播公司（CBS）场序制彩色电视制式的基础。

与拜尔德机械扫描式场序制彩色电视并行发展的是伊弗斯的机械扫描式同时制彩色电视。伊弗斯在1929年进行了首次试验。他的电视区别于拜尔德电视的地方，是他的尼普科夫圆盘只有一套光孔。他将三基色图象通过一块平面镜同时反射到圆盘上，再通过光孔投影于屏幕。这样形成的自然色图象就是一次成色面不需要顺序投影。伊弗斯的同时

制彩色电视为后来美国无线电公司（RCA)的彩色电视系统奠定了基础。

人总是企求达到更高的生活水平。人的视觉是接收信息的最重要的通道，也是人的精神和文化生活的最重要的接受者。有声电影的出现，把人的生活水平推上了前所未有的高度。大多数人已经感到心满意足，而电子企业家们就在这个时候告诉人们：有声电影方兴未艾，有声电影将要进入家庭。此前，电话、白炽灯进入家庭，已给家庭生活带来了丰富多彩的内容，而有声电影要进入家庭，意味着每个家庭将是一个电影院。美国无线电公司副总裁萨诺夫（D.L.Sarnoff）在1930年就这样说过，他说："这个国家有二千六百万个戏院潜在地等待建立；每个家庭本身将最终变成一个剧院。"完成这项使命的是电视，是全电子式电视。

其实，俄罗斯圣彼得堡大学教授罗辛(R.Rosing)在1907年和英国人肯培尔-斯文顿(A.A.Campbell-Swinton)在1908年，就已经提出用布劳恩阴极射线管作显象管的全电子式电视的设想。罗辛的学生兹沃里金（V.K.Zworykin）从1912年开始研究电子式摄象技术。1919年他移居美国，在那里设计出储电式光电摄象管。后来在威斯汀豪斯电气公司

的资助下，于1923年制造出这种摄象管。第二年，他就发明了阴极射线显象管，这种显象管有横向和纵向扫描线圈，但没有聚焦机构，而是使电子束产生自聚焦。

最先开展全电子电视广播的是英国。他们在1937年实况播放了乔治六世的加冕典礼。三年后，美国也开始了全电子电视广播。美国无线电公司在1939年4月30日，从纽约帝国州立大厦上播发了罗斯福总统在纽约世界博览会上致词的实况。它通过美国电话电报公司的实验同轴电缆将信息传到美国东北部各重要城市。

1940年，哥伦比亚广播公司试播了古尔德马克（P.C.Goldmark）的场序制彩色电视。古尔德马克沿用了拜尔德的场序制（每秒120帧，每帧343条扫描线）。他们的摄象管和显象管是黑-白的，但各自前面装有一个同步旋转的滤色盘，滤色盘上红、绿、蓝三色各占三分之一的面积。古尔德马克彩色电视系统需要较大的带宽（12兆赫），不能与黑-白电视兼容。

与此相反，美国无线电公司采用同时制彩色电视系统。他们使用三个摄象管摄象，分别摄取同一图象三基色成分。他们的显象管也是三个，分别显

示三基色图象，这三基色图象经一组平面镜反射到同一银幕上面成自然色图象。这种彩电系统只需要4.2兆赫的带宽，能与黑-白电视兼容。缺点是，设备复杂，体积大，能量耗损大。

三十年代的电视技术还处于开拓期，根本谈不上制式的统一，各公司都在试探理想的电视系统，以争得市场，这场竞争在第二次世界大战中稍有停顿，战后又重开电视技术和市场的争夺战，最后导致了统一的NTSC制的诞生。

1-6 西向转移

人们还记得，在1851年伦敦国际技术博览会上，产品几乎都来自西欧各国，而美国未能贡献几件象样的东西。可是在二十五年后的费城国际博览会上，情况就大不相同了。这次博览会标志美国步入了技术大国的行列。当时，美国的技术是上去了，但基础科学的成就几乎都是欧洲人贡献的。电磁场理论是麦克斯韦（英国）创立的，电磁波是赫兹（德国）发现的，电子论是洛伦兹（荷兰）创立的，电子是汤姆逊（英国）发现的，光电效应是哈

尔瓦赫斯（德国）发现的，压电效应是居里兄弟（法国）发现的，阴极射线是克鲁克斯（英国）发现的，X-射线是伦琴（德国）发现的，等等，美国人榜上无名。

当时美国不唯独缺少基础理论，就连工程理论也得向欧洲人借鉴。诸如电报方程、振荡电路理论、调谐电路原理、检波原理，等等，都是欧洲人的成果。就拿大西洋海底第一条电报电缆来说，虽然美国也参加了铺设，但他们只出了钱，而未贡献智力。

美国在没有自己的科学的情况下是怎样发展成为一个技术强国的呢？就电气技术来说，美国成功之处在于他们优先开发离欧洲最近的大西洋海岸，特别是美国的东北部地区。当大批大批的美国人西移时，欧洲又有大量人才来到美国的东海岸和东北地区。他们带来了欧洲的理论和技术，促进了那里的电气公司的发展。这就是上一世纪末的大体情况。

本世纪初，美国的工业技术政策有了新的发展，由原来以招聘欧洲高级科技人才为主转为以派出人员到欧洲学习为主的阶段。美国通用电气公司在这一方面做得最为出色。它的研究实验室的绝大



电子管发明家朗缪尔（左）
和通用电气公司研究实验室主任惠
特尼在一起

多数人是已经获得博士学位的，其中不少人是在欧洲名牌大学获得博士学位的。如该室首任主任惠特尼(W·R·Whitney)毕业于麻省理工学院，在莱比锡大学获得博士学位。该室研究员、钨丝电灯发明人库利治（W·D·Coolidge）也是毕业于麻省理工学院，在莱比锡大学获得博士学位。

由于美国电气工业界迅速招揽、培养和积累人才，使得他们得以迈开步伐，创立自己的工程理论。朗谬尔在1913年发现了真空管中电子运动的规律，提出了著名的朗谬尔公式。这是美国人在二十世纪为电学增添的第一条基本定律。第二年，亚里山德逊就提出了等效电路计算方法。工程理论又带动了技术发明。1916年，通用电气公司研究实验室的哈尔（A·Hull）发明了磁控管，1917年又发明了负阻管。这样的例子是很多的。

美国大西洋海岸电气和无线电工业发展，还与美国国防的支持有关。我们还是举通用电气公司为例。1915年11月，美国海军邀请该公司的亚里山德逊和朗谬尔到华盛顿讨论海军电子工程方案；此后，美国海军就成了通用电气公司的永久性主顾。1917年海军向他们订购了100只大功率真空管。接着，陆军信号军团又向他们订购了一万只功能电子管，

这批电子管均被用来安装军用机载无线电话机。

1930年，大萧条降临美国，通用电气公司就把大部分力量放在了工业电子学和军用电子学上面。1931年，他们首先把汞弧整流器用于铁路的机车拖动。1933年，为“波特兰”号巡洋舰设计和制造了无线电火控装置。同年，他们又为布尔德坝枢纽工程设计出高压直流输电装置。这是自上一世纪八十年代交、直流电大论战后直流电输电方式的第一次复活。爱迪生之所以败北，是因为当时他还没有掌握高压整流器件。这时借助于高压闸流管可以开展十万伏的高压直流输电。1937年，五十九岁的亚里山德逊再次作出贡献，发明了电机放大器。这种放大器能将100瓦小型电机的功率放大到1000千瓦，具有良好的频率响应特性。它不论在工业中还是在军事上都是一种很有潜力的伺服工具。1940年，美国三军向通用电气公司购进大批电机放大器，用于火炮、转台和雷达天线的自动驱动系统。1941年，通用电气公司对电机放大器和计算机的接口进行了研究，实现了由计算机控制的、由电机放大器驱动的火炮和雷达天线的自动操作。

现在比较有名的“美国无线电公司”是从通用电气公司在1919年分划出来的。它的任务是负责生

产由通用电气公司、威斯汀豪斯电气公司和美国电话电报公司设计的无线电通信设备，并担负建设国内和国际无线电通信网和广播网的任务。由美国落基点到德国劳恩之间的无线电通信联络系统是他们在1922年建立的。1924年，他们用亚里山德逊射频发电机装配了包括英国、瑞典、波兰和夏威夷在内的许多电台，建立了一个新的国际无线电通信网，使无线电通信和广播中心从伦敦转移到了纽约。

在三十年代，通用电气公司是美国最大的电气公司，它拥有雇员87，800人。由它派生出的美国无线电公司也有雇员两千余人，规模虽然不大，却是美国研制电视和广播、通信技术的主要力量。属于第二大规模的公司主要有威斯汀豪斯电气公司，它拥有雇员49,000人。属于第三大规模的公司主要有国际商业机器公司（IBM），它拥有雇员4，400人。国际商业机器公司的前身是制表机器公司（Tabulating Machine Co.）。1890年，霍勒里思（H.Hollerith）为了协助美国第十次人口普查，发明了一种机械数据处理机，1896年就创立了制表机器公司。1911年，该公司与一家制造计算尺和工业时钟的公司合并，成立计算机-制表-记录公司。1924年，这个公司在沃森

（J·Watson）领导下改名为国际商业机器公司。该公司现在已经发展成全球性计算机公司。

我们从通用电气公司的发展可以找到三十年代前美国东海岸电气和电子工业发展的大体经络：培养人才—工程理论突破—技术突破—面向国防和工业。这一模式是西欧所没有的，就拿英国来说，理论和发明，大多数出自大学，而这些成果往往又与工业和国防脱节。这种现象正是造成英国的电子工业从三十年代后无法追赶美国的根本原因。

实际上，美国东、西海岸的电气和电子工业发展根不平衡。上述公司均位于东海岸和东北部地区。截至1920年，象通用电气公司、威斯汀豪斯公司、美国电话电报公司，以及马可尼电报公司和德律风根公司这样两个跨国公司，已经发展到这样的程度，任何新公司不经他们批准就不能获得专利、也无法打入市场。

造成美国大西洋岸电子工业优先发展的原因有：（1）爱迪生和贝尔这样一批创业者的活动集中在波士顿、纽约、费城和华盛顿一带，在那里打下了基础；（2）东海岸受欧洲影响最深，比较容易获得西欧的人才和技术；（3）比起亚洲来，欧洲是一个更大的市场，凡是新技术产品只有在那里才能获

得销路；（4）东部海岸和东北部是美国的工业基地，那里有集中的电力、钢铁、冶金、造船、造纸、化学和飞机制造工业，还有十分完善的铁路运输和海洋航运业。这些“烟筒工业”都有待电子技术对它们进行新的开发。

当时的美国西海岸基本上不存在这些优越条件。不过，在那些征服过美国中西部沙漠和贫瘠的美国人看来，东部现有的条件在西部也能创造出来。他们看到了两个前景，一是西海岸较优先地发展了水电工业，那里有廉价的电力；二是加州（特别是旧金山）的有利地势。由于上一世纪以来的持续的淘金热潮使加州人口激增，旧金山已成为人口密集的重要港市，那里聚积了雄厚的资本，形成了一个风险投资的中心。历史学家们还记得，墨西哥西部的阿卡普尔科港在上一世纪初对繁荣东方和西方经济所起的作用。一艘艘西班牙大帆船将印度的棉布、麻织品和中国的丝绸、茶叶及古玩运到那里集散，再发往北美和欧洲；它们又将一箱箱墨西哥的银币运到东方各国。旧金山比阿卡普尔科具有更重要的位置，它将成为美国打入东方市场的基地，将是沟通东、西方物质和文化的重要桥梁。从1890年后，旧金山的航海业就迅速发展起来，其速

度毫不亚于纽约港。随着加州的崛起，那里出现了电气和电子工业。

让我们先来看看与美国电气和电子工业直接相关的水力和水电工业发展的情况。早在1858年，内华达州开始用水力开矿，为此而大兴水利。但水法开矿很快就给下游地区带来了灾难，淤泥和沉渣抬高了河床，堵塞了通道。水力开矿终于在1890年被各州法律所禁止。企业家们于是决定用电力代替水力，而电的来源主要还是水力。水电工业就从19世纪九十年代迅速发展起来。开始他们只能将电力输送到20英里的地方，随着电力变压器的引入，电就被送到了较远的地方，截至1901年，水电已经送到了旧金山。水电工业的发展，使电器匮缺问题突出起来。这时，地方风险资本财团投资在加州奥克兰建立了西方机电有限公司和投资在俄勒岗州建立了英吉利公司。这两个公司为西海岸电力工业提供了必要的电器和电测仪表。除发电机和涡轮机还需向通用电气公司和威斯汀豪斯电气公司购买外，其余的小型设备都能达到自给自足。这样，在不到二十年中，西海岸工业就实现了电气化。仅以加州为例，它的电力、电器装备总值从1902年的36,500,000美元，上升到1920年的四亿美元。

马可尼电报公司曾垄断过西海岸航海电信设备市场。西海岸企业家们决心抛掉这个殖民主义的最后象征，他们投资在旧金山和西雅图两个港市建立起联合无线电公司和基尔伯恩—克拉克制造公司。这两个公司为西海岸无线电信事业奠定了基础，并给大学毕业生和业余爱好者带来了福音。然而，由于联合无线电公司侵犯了马可尼电报公司的专利，经法院裁决败诉而被马可尼电报公司所鲸吞。西海岸财团决心再投资，与马可尼电报公司决一雌雄。1909年，鲍尔森无线电话和电报公司诞生了。该公司把无线电制造和服务业扩大到整个西海岸，直至夏威夷群岛。这个公司在1911年又分划出联邦电报公司。联邦电报公司是第一个获得美国海军支持的西海岸的电子公司。1915年，他们为海军生产出100千瓦的无线电报系统；接着就为圣迭戈制造和安装起200千瓦的无线电报系统，为珍珠港、甲米地和菲律宾岛制造和安装起350千瓦的无线电报系统。

进入二十年代后，斯坦福大学培养的人才开始在西海岸电子工业发挥出重要的作用。1926年，斯坦福大学毕业生海因兹（R·H·Heintz）和考夫曼（J·Kaufman）创立了“海因兹——考夫曼有限公司”（HK），该公司是最早将真空电子管用于

无线电信和广播设备的西海岸的公司（虽然比东海岸的电气公司晚了十几年，但从西海岸的落后的情况来说还是不算太晚的）。他们获得“美圆汽船公司”的支持，并为该公司建立了五个航海无线电通信站。在三十年代初，海因兹——考夫曼公司在上海、关岛、夏威夷和菲律宾建立起一系列无线电台站。可以说，这是仅次于美国无线电公司建立的第二大国际无线电通信网。1934年，海因兹——考夫曼公司分划出“爱特尔—麦库劳公司”（简称Eimac）。他们发明微波电子管Eimac被美国军方用于雷达线路，在第二次世界大战发挥了很大的作用。

随着西海岸电子工业的崛起，东海岸的电子公司就更加加剧了在那里的竞争。形势复杂、犬牙交错。在那里有东、西方的争夺，也有东方公司之间的争夺。如马可尼电报公司与美国电话电报公司的争夺，有美国电话电报公司和西海岸的联邦电报公司的争夺。联邦电报公司在这场争夺中失利，不得已被卖给美国电话电报公司下属的“马开无线电公司”。当三十年代大萧条降临美国时，美国电话电报公司撤出了西海岸的力量，联邦电报公司随即被迁往新泽西州。该公司中一些人具有浓厚的乡土观念，不肯东迁，就离开了联邦电

报公司。其中最著名的有福勒（L.F.Fuller），他是联邦电报公司的元勋，这时决定留在加州，到加州大学伯克利分校担任电气工程系主任去了。另一位是斯坦福大学毕业生利顿（C.V.Litton），他也留在加州，在红木城创立起“利顿工程实验室”。从此以后，西海岸电子工业进入了智力投资的阶段。

著名的美籍华裔科学家陈树柏先生近年在中国讲学时呼吁：“在制度上鼓励一些大工厂、企业对学校投资（象美国一样），学校通过代培人才或增加一些计划外的招生办法，以及通过协作搞一些科研项目等办法来回报。”这是陈树柏先生根据斯坦福大学从三十年代起对电子工业所起的作用而总结出的一条宝贵经验。以下的事实可以证明陈树柏先生的呼吁是正确的。

大约从1910年起，加州大学和加州理工学院开始注意化学工业的技术，因为当时加州沿海的石油公司相继建立起工业实验室和农业实验站，研究从石油中提炼化工原料和化肥。斯坦福大学是1920年开始注意电子工程问题的。1925年，斯坦福大学的毕业生特曼（F.E.Terman）回到母校担任工程系主任。他毕业后曾到麻省理工学院就学于模拟计算机发明者布什（V.Bush）名下。布什一贯主张，

大学不应是学术金字塔，而应当成为科技研究和开发中心，这就在特曼心中播下了大学要与工业结合的思想。特曼认为，斯坦福大学要进入名牌大学之列，出路在于用先进的技术打入工业，并向工业学习，从那里获得新课题。他让他的学生访问当地的海因兹——考夫曼公司、爱特尔——麦库劳公司和利顿工程实验室。特曼和利顿建立了良好的友谊。1936年，利顿研究多栅电子管振荡电路获得专利，他把专利权让给了斯坦福大学，并同他们一起研究速调管。他把自己获得的一千美元奖金送给特曼，特曼又将这笔钱用来支持他的学生帕卡德（D.Packard)进行研究。

1939年，帕卡德和斯坦福大学另一位毕业生休利特（W.R.Hewllet）在斯坦福大学创立了“休利特——帕卡德公司”（HP）。截至1940年底，这个公司才有九人，三万七千美元的资本，在第二次世界大战中发挥了重要作用，对后来形成的“硅谷”也有一定的影响。

休利特——帕卡德公司是斯坦福大学电气工程系的产物。斯坦福大学物理系也产生了一个类似的电子公司——瓦里安公司(Varian Co.)。早在1934年，斯坦福大学物理系教授汉森（W.W.

Hansen）和韦伯斯特（D.L.Webster）设计出可以产生1兆电子伏特能量的电子直线加速器。1936年，瓦里安兄弟（Varian brothers, Russell and Sigurd）加入了他们的研究小组，他们想利用加速器来研制供雷达用的速调管。时值西班牙战争已经爆发，日本也已经侵占了中国东三省。曾是一位飞行员的小瓦里安，亲眼目睹过没有预警防空条件的城市所遭到的毁灭性打击，遂决心与哥哥一道参加研制速调管，终于在1939年研制出速调管，他们所创立的公司对后来的“硅谷”也有很大的影响，如今还是美国电子工业中的一颗明星。

中国有句俗语：三十年河东、三十年河西。如果用它来描绘美国两岸电子工业的情况，是最为合适的。美国东海岸的电子工业靠欧洲的影响而发展起来，导致了电子工业的第一次由东到西的转移。美国西海岸又在东海岸工业的影响和压力下，形成了独立的电子工业和技术的体系，最后导致了六十年代“硅谷”的出现，这就是电子工业史上第二次由东到西的转移。这种转移仍未完结。从七十年代起，美国电子工业技术飘过太平洋，引起日本电子工业的起飞。目前，日本已雄据国际电子工业和技术的市场，并在某些方面超过了美国。可以说，这

是电子工业史上第三次由东到西的转移，这次转移还在激烈进行中。我们期望在21世纪初发生第四次由东向西的转移。

1-7 巴比吉的子孙

人们已经给各种电子计算机编过“代”，从1946年第一代电子计算机到现在的四十年中，电子计算机已经历了四代。目前，科学家们正朝着第五代电子计算机——人工智能计算机迈进。可是，我们千万不要忘记那些没有编代的计算机，它们当中最早的已有三百余年的历史，它们当中大多数发祥于英国科学家巴比吉（Charles Babbage）的计算机结构和计算方法，已经在人口普查、大选预测、天文和气象数据处理诸多方面大显身手，并导致了第一代电子计算机的诞生。有人亲切地称这些“代前”计算机为“巴比吉的子孙”。

机械式计算机的历史可以追溯到17世纪。1642年，青年数学家帕斯卡（B.Pascal）为了帮助父亲算帐，发明了第一台机械计算器。他的计算器由一系列安装在水平轴上的变速齿轮构成中央处理单

元，它能够进行加、减法运算，而不能进行乘、除运算。据说，在帕斯卡之前，德国人席克哈尔德（W.Schickhard）在1623年也发明过机械计算器，但从未得到证实。

1673年，德国自然哲学家莱布尼兹(G.W. Leibniz）发明了可以进行四则运算的机械计算器。这台计算器的核心部分由所谓“莱布尼兹轮”构成。“莱布尼兹轮”的结构长期被后人沿用，直至第二次世界大战。1820，汤姆斯（C.X.Thomas）改进了莱布尼兹计算器，造出了所谓算术计（Arithometer）。这种计算机在19世纪曾经大量生产过。

在早期机械式数字计算机中，最有影响的是巴比吉发明的计算机。1823年，巴比吉得到英国政府支持，开始研制机械式差分计算机。这是一台专用计算机，专门用于编制各种航海表格。它能够进行加、减、乘、除、对数、正弦、余弦等项运算，并能用来进行物理观测。它是十进制计算机，具有20个数字存贮器。1833年，巴比吉又发明了机械式通用计算机——“分析机”。这台计算机具有处理单元和存贮单元，用穿孔卡片输入。当需要对存贮器进行存取时，电铃自动作响。一百年后哈佛大学设计出的机电式数字计算机Mark-1型机（即IBM

600系列）与之酷似。

现在，历史学家往往称巴比吉为“计算机之父”。美国明尼苏达大学还设有“查理斯·巴比吉研究所”（CBI），专门研究计算机发展史。可见巴比吉在计算机史上占有突出的位置。

人们感到奇怪，我们的祖先为什么创造了十进制，而没有使用其他进制。其实回答这个问题也不难，因为人有两只手，共有十个手指。至于二进制概念，很难从通常的实践中获得，因为自然界是一幅连续的图象，其变化大多数也是连续的。在大自然中我们不可能得到如同机械或电气方面“开”、“关”的印象。因此，这就决定了二进制的概念只能由逻辑学家最先提出。形式逻辑中的“排中律”，要求被判断的事物要么就是“是”，要么就是“非”，而不可能是第三者。任何具有基本推理能力的人都能使用排中律。然而，要将它化为数学语言则是十分困难的。解决这个问题的人是英国数学逻辑学家布尔（G.Boole）。他在1848年发表的“逻辑的数学分析”和在1854年发表的“思想规律的研究”两篇论文中，奠定了逻辑代数的基础。他将整个理论建立在方程$x^2 = x$的基础上，这个方程的解不是1就是0，反之亦然。现代的数学计算机的基本理论

都发源于布尔的二进制数字的逻辑理论。

1890年，美国开展了第十次人口普查（美国人口普查始于1790年，每隔十年一次，其中美国内战中断过一次）。布鲁斯（W.S.Burroughs）制造出“累加和登记机”。他用这台计算机统计出美国在1890年的人口数为62,974,714人，结果证明美国人口在一百年中四次翻番，即平均二十五年翻一番，从而证明了美国科学家富兰克林（B.Franklin）关于美国人口将按几何级数增长的预言。

本世纪头三十年中，计算机技术没有显著进展。在三十年代，麻省理工学院教授布什设计一台机械式模拟计算机。其机械部分的磨损是影响精度和寿命的重要原因。况且，模拟计算机运算速度几乎与其精度成反比，速度和精度不可二者得兼。更为严重的问题是，模拟计算机只能解有限几个问题，每换一道题目，就得更换机械连接部分，这是一项繁重而又费时的工作。因此，科学家们又回到巴比吉数字计算上来了。

1929年，哥伦比亚大学为编制航海表，请来国际商业机器公司的总裁沃森。沃森就在那里建立起“哥伦比亚大学统计局”。1931年，他研制出差分制表机，基本上是十进制计算机。1937年，“哥伦

比亚统计局”改名为“沃森天文计算局”。由于哥伦比亚大学和国际商业机器公司这种特殊关系，使得国际商业机器公司较早地发展起来，最后成了计算机工业的领导力量。

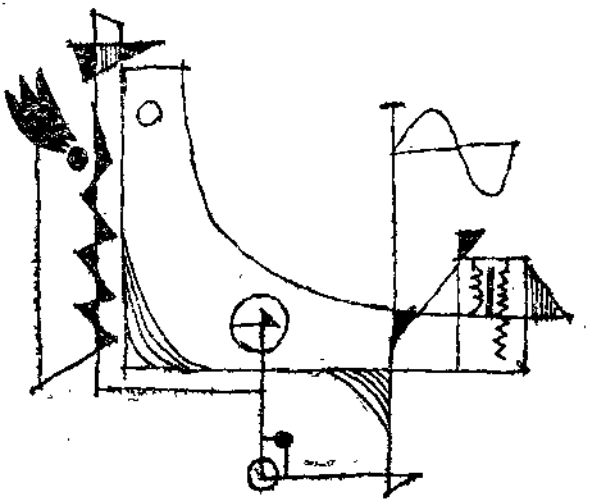
计算机设计理论在1936年取得了重大突破。纽约市学院逻辑学家波斯特(E.L.Post)发表了“有限组合过程”；在普林斯顿大学进修的英国学者图林(A.M.Turing)发表了《论可计算的数及其对判别问题的应用》。第二年，麻省理工学院研究生香农(C.E.Shannon)在他的硕士论文中最先证明可将布尔代数用于简化二进制计算机的设计。这样就奠定了二进制计算机设计理论的基础。

1937年，贝尔电话实验室的斯梯比兹(G.R.Stibitz)用继电器作开关元件，制成第一台继电器式计算机。从此，机电式计算机开始发展起来。1939年，斯梯比兹在威廉斯协助下又研制出机电式“复数计算机”，这便是贝尔1型继电器计算机的原型。后来，安德鲁斯(E.G.Andrews)也参加了斯梯比兹小组，他们相继研制出贝尔2型机和贝尔3型机。贝尔3型机是在1944年才制造出来的，拥有9000个继电器，占地1000平方英尺，重10吨。这台计算机的运算速度超过了以往任何计算机，七位十进制

数的加法只用三百毫秒时间，一道乘法一秒钟，一道除法2.2秒钟，平均四十分钟完成一个弹道计算。

在贝尔3型机诞生的同时，国际商业机器公司生产出 Mark-1 计算机。这台计算机是哈佛大学毕业生艾肯（H.Aiken）最先构思出来的。他通过一位在哥伦比亚统计局的老师与国际商业机器公司取得联系，提出的建议被公司所采纳。该公司成立了以拉克（C.D.Lake）为首的技术攻关小组，与他通力协作，终于在1944年制造出了这台自动定序计算机。这台计算机占地面积2500平方英尺，内含80万个部件，具有60个常数存贮器，一个中央乘除单元，能够进行对数、正弦函数等超越函数的计算。一道加法只需0.3秒钟，一道乘法需要3秒钟。

在第二次世界大战前，计算机技术以继电器计算机的出现作为最后的阶段。电子管早已问世三十余年，为什么电子管在这样长的时间内未能进入计算机？这个问题还有待历史学家去深入研究。第二次世界大战中，由于迫在眉睫的弹道计算，迫使科学家们将计算技术与电子管结合起来，最后导致了第一代电子计算机的诞生。关于这个问题请看第二章第三节“弹道计算的需要”。



第二章

在第二次世界大战中

2-1 用工程创造的神话
必须用工程来粉碎

在1933年出现了许多重要发现和发明。意大利物理学家费米（F.Fermi）提出了原子核β衰变理论，美国科学家图夫（M.A.Tuve）建成了第一台静电加速器，英国物理学家布莱克特（P.M.S.Blackett）和意大利物理学家奥查尼林（G.P.S.Occhialine)发现宇宙线轰击原子核产生电子对和形成电子簇射现象，美国工程师阿姆斯特朗（E.H.Armstrong）提出了宽带调频原理……这些成就都是引人注目的。然而，在这一年发生的一个政治事件却未引起人们足够重视，那就是希特勒从兴登堡手上接管了德国，并使它变成了法西斯帝国，以后爆

发了第二次世界大战。而在大战中，有一支特殊的力量参战，彻底粉碎了法西斯侵略者速决战、闪电战的神话，用信息的武器摧毁了钢铁的威力。它们不是别的，正是道义和智慧结合的产物——电子技术。

电子工业是第二次世界大战中发展最快的工业，据美国战争生产局统计，战争期间电子工业平均月产值是战前1939年的12倍，主要元件的产量超过了20～30倍。美国电子工业就业人数由战前最高峰的11万人增加到战争期间的最高峰56万人。

美国参战后，大多数无线电公司投入雷达和电信设备的制造，民用产品暂时让位。据报导，美国55个最大的无线电公司在1941年的无线电出厂总值为两亿四千万美元，而到了1944年就增加了18.75倍，达到45亿美元。当时每辆坦克均装有5千美元的无线电装置，每架重型轰炸机均装有价值5万美元的无线电装置。电子管的生产也在大幅度地增长，从1942年到1945年上半年的三年半中，在美国生产的电子管的总值达10亿美元，约占设备产值的15%。电容器的生产也十分迅速，在珍珠港事件之前，电容器的月销售额仅为500万美元，而在接近战争胜利时，月销售额就增加到1200万美元。

战争是一部大机器。这部机器不仅需要有高效

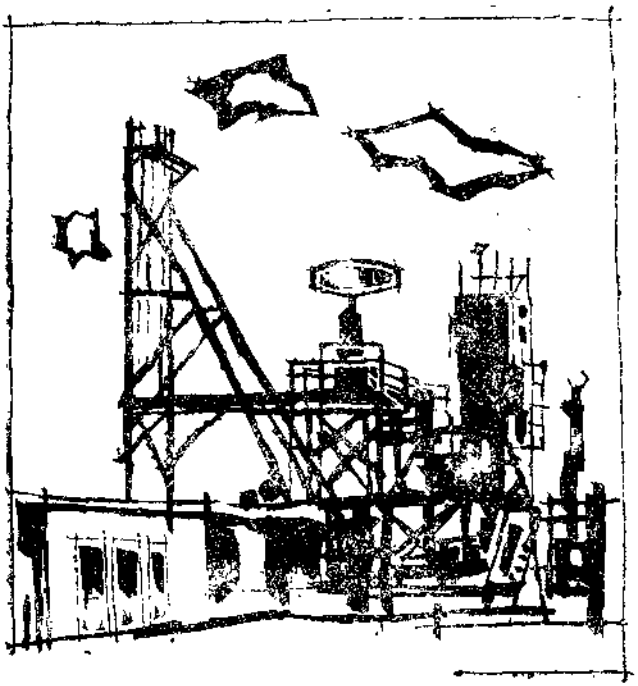
能的指挥中心，而且要求各部件准确无误地完成各种动作。这就要求它们高度标准化。如托夫勒所说，标准化是第二浪潮社会的六大要素之一，它关系到这个社会的效率，甚至关系到它的生命力。美国无线电制造者协会（RMA）充分发挥了它的职能作用。完成了无线电元件标准化和规格化的历史任务。在1942年，美国已有2300余种型号的电子管，而在战争结束时，电子管的型号就锐减到224种。这样，不论飞机还是战舰，不论军车还是坦克，它们的电子管可以互换，他们在各战区都能及时得到补给或维修。电子管是这样，电容器、电阻器、变阻器、转换开关、同轴电缆以及绝缘子的情况都是这样。

1940年7月，美国电气工程师学会（AIEE）通过决议，要求该学会发挥总统顾问的作用，协助罗斯福总统完成国防电子战的总体计划。学会执行主席霍金斯（L.A.Hawkins）在《电气工程》杂志上呼吁："用工程创造的纳粹神话只能用工程来摧毁……研究工作和工程设计应当以前所未有的情况团结起来，破釜沉舟、背水以战。"罗斯福总统的技术顾问，华盛顿卡尼基学会主席布什（就是那位发明模拟计算机的布什）动员科学家为战争而研

究，为战争而设计，一切为着战争的需要。根据他的建议，国防研究委员会在1940年6月27日成立，他担任第一届主席，其他领导成员有麻省理工学院院长康普顿（K.T.Compton），哈佛大学校长柯兰（J.B.Conant），国家科学院院长兼贝尔电话实验室主任尤特（F.B.Jewett）和加州理工学院院长托尔曼(R.C.Tolman)等人。该委员会的任务是统一领导有关战争装备的研制，与飞机有关的问题则属国家航空和宇航局顾问委员会负责。

国防研究委员会是怎样发挥职能作用的呢？这个问题既简单，却又易于被人所忽视。该委员会成立后不久就做了两件事情，一是通报各科学和教育中心，告诉他们该委员会将领导他们的国防科研工作；二是编汇全国人才和设备一览表，以便合理选择和调集人才，分配课题。

工程力量的发挥，在于确立工程实验和设计的中心。为遏制德国潜艇的猖狂挑战，需要有反潜艇技术。委员会选择在哥伦比亚大学和加州大学建立两个反潜艇研究中心。美国在战前已经开始长波雷达的研究，是分散进行的。这种状态自然不符合战争的要求。1940年10月，国防研究委员会在麻省理工学院建立了第一个雷达研究中心——辐射实验室，



为雷达战建立功勋的麻省理工学院辐射实验室

给它调集了几百名物理学家，约占美国物理学家的五分之一。接着，哈佛大学无线电研究实验室和哥伦比亚大学辐射实验室也被列为雷达研究中心。他们的目标是把长波雷达推进到S波段和x波段，即推进到厘米波雷达的阶段。同时，还要对半导体微波检波器件进行研究。在斯坦福大学校长特曼领导下的哈佛大学无线电研究实验室最先进行了电子对抗研究，发明了一套用雷达干扰敌人通信的方法。

1941年6月，又建立了美国科学研究和开发局，由布什亲自主持。其任务是负责军事装备的生产。雷通公司，斯佩里公司和威斯汀豪斯电气公司专门负责生产电子装备。国防科学和开发局下属19个分局，其中就有12个分局负责管理电子产品。由此可见，电子工业在第二次世界大战中占有十分重要的地位。

第二次世界大战中美国的国防研究委员会是一个极为庞大而又独揽大权的机构。它有如一部中央计算机的控制部分，对政府和五角大楼的指令进行实时处理和分配，并将前线的军备信息及时反馈到各研究和生产部门。这样一个科学研究行政机构领导下的电子工业，自然能发挥高度的效能。但是，这庞大的机构又没有尾大不掉的难题，招之即来，

挥之即去，当战争结束后，进行了善后工作，遣返人员，调回设备。到了1947年1月，它终于宣告解散，它的首脑们迅速回到各自的单位。这一点现在仍值得我们学习。

2-2 戈林元帅受到“神经性武器”的打击

不少人认为第一次世界大战是一场大规模的化学战，第二次世界大战是一场倾倒钢铁的战争。这种认识有失偏颇，我们应当补充说：第二次世界大战还是一场雷达战。

军事家常说：时间就是胜利。在电子技术迅速发展的时代，信息几乎成了时间的同意词。这个时代任何一位具有科学素质的将领都知道，谁最能充分运用信息的力量，谁就能取得胜利。但是，这里有一个例外，那就是希特勒。希特勒的神话是建立在闪电战的概念的基础上的，他以不可再生的能源铸造的钢铁和武器为实力，将一切希望建筑在以最快的速度摧毁其他民族之上。他们一夜功夫就夷平波兰，一个月中又荡平低地国家，并把偌大的法国逼得无路可走。可是，他无法渡越英吉利海峡。戈林

元帅曾喧嚣要在一星期内铲平伦敦，可是他却受到一种比钢铁还要强许多倍的“神经性”武器的打击。这种武器正是雷达。

1935年，英国皇家雷达公司（RRE）的沃森瓦特（R.Watson-Watt）就已建议英国政府建立长波雷达站，截至慕尼黑条约签订的那一年，英国已在伦敦直到东海岸建立起雷达链系统。这个雷达链在不列颠战役中起了关键性作用，它配合英国700架战斗机有效地抵御了戈林的2,500架轰炸机的袭击。在1940年9月15日的伦敦空战中，戈林就损失了185架飞机。这一打击宣告德国的“鹰计划”破产了。德国丧失了空中优势，不得已挥师北上进攻苏联去了。

在将近一千年内，英国一直是用舰艇保卫自己。在第二次世界大战中，它却是用雷达来保卫自己。丘吉尔在1940年8月20日在下院的一次讲演中说道：“在人类冲突的领域，从来没有这么多的人感谢这样少的人的努力。”

丘吉尔在这里所要感谢的人，是那些发明和开发雷达技术的人。这些人最早的可以追溯到1922年。美国海军实验员泰勒（A.H.Taylor）和杨（L.C.Young）在波多马克河进行高频无线电通信



力反法西斯建立功勋的 英国
雷达发明家沃森瓦特

实验时偶然发现，当一艘军舰从他们中间通过时，他们的信号被中断。他们由此推测，大的金属体可以拦断或反射短波无线电信号。他们建议海军在两艘巡洋舰上分别装上高频无线电信号发射机和接收机，以便在茫茫大海中搜索敌舰。

1930年6月，泰勒和杨的同事海兰（L.A.Hyland）在进行高频无线电定向实验时又发现，当飞机在上空出现时，他的无线电信号受到严重干扰。他于是建议海军采用发射定向无线电波束的方法来搜索远方的敌机。

1931年，美国海军研究实验室提出了“用无线电探寻敌舰和敌机”的研究课题，旨在设计一种“无线电探测和测距”（Radio Detecting and Ranging）的装置，这种装置名称的缩写便是“雷达”（Radar）。经过一年努力，设计出可以探寻40英里范围内敌机的雷达。这种雷达需将发射机和接收机分设两地。并要互相屏蔽，不易安装在军舰上。因此，海军就将这项技术移交给了陆军。

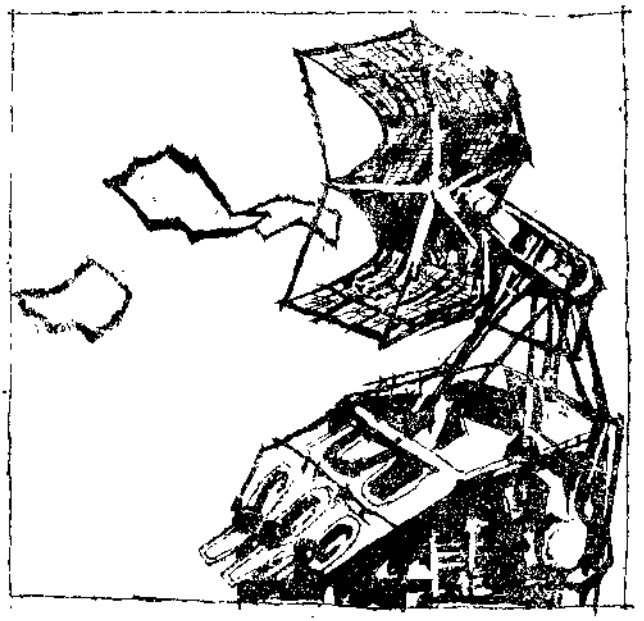
1934年，美国海军研究实验室开始研究脉冲雷达。两年后便进行了60兆赫的脉冲雷达实验。接着，他们就把频率提高到200兆，并设计出发射机和接收机天线转换开关，能在发射两个脉冲之间自

动将天线转换到接收机上，做到收、发机共用天线，减小了雷达体积，这就为将雷达安装在军舰上创造了条件。1937年4月，美国最先在军舰上装备了军用雷达。

最先从事雷达和平应用的是法国。法兰西无线电学会的科学家们从1934年就开始研究用米波和分米波无线电来探寻海上潜伏的障碍。1935年，他们在“诺曼底”号班船上装备了分米波脉冲雷达，该雷达一直使用到1942年，当“诺曼底”号在纽约港失火时一同随船烧毁。1936年，法国科学家们又在勒阿夫尔（Le Havre）港装上雷达，用来监视船舶的进出。

英国的雷达研究工作是从三十年代开始的。英国政府指令蒂扎德(H.Tizavd)、希尔（A.V.Hill）和布莱克特成立三人雷达委员会。他们向政府推荐施行沃森瓦特的方案。1935年夏，他们在索夫尔克（Suffolk）海岸进行了大规模雷达防空试验。接着在伦敦近郊建立起扇形雷达链阵地，这就使他们在希特勒发动的“猝不及防”的不列颠战役中立于不败之地。

在三十年代，已有美国、法国、英国、荷兰和德国五个国家开展了雷达研究。我们很难说清谁最



第二次世界大战中装在
“USS尼柯拉斯”号驱逐舰上的
火控雷达天线

先发明雷达，不妨将雷达列为一种"同时的发明"，或者按英国科学史家李约瑟所说，是一项"激起传播"的技术。对于许多技术，我们不可能给它们标明最先发明者，这与科学发现有很大的区别。阿基米德在浴盆中获得灵感而发现浮力定律，当他跳出浴盆裸身跑下楼梯时，他可以大声说道："我发现了，我发现了！"而无线电工程师们不论经过如何卓绝的努力，也无法声称"我发明了雷达"。其原因在于，雷达的出现与社会需要、基础理论和技术环境三个条件紧密相关。从社会需要的方面来看，不论和平事业还是战争，都已经形成需用先进技术来防患于未然或消除不确定性的要求。从基础理论来看，麦克斯韦（J.C.Maxwell）创立的电磁场理论和亥维赛（O.Heaviside）对电离层的预言，均已是普遍接受的理论，在这一方面，各国科学家们没有程度上的差异。从技术角度来说，微波雷达需要有三大件：一是示波仪；二是速调管；三是磁控管。示波仪是在布劳恩阴极射线管的基础上改进而成的，德国的阿尔顿尼（M.von Ardenne）和美国的迪蒙（A.B.Du Mont）做了很多工作。速调管是美国瓦里安兄弟发明的，而磁控管是英国人兰德尔（J.T.Randall）和布特（H.A.Boot）发明的。

共同的社会需要 一样的科学背景和相互结缘的技术，决定了雷达不是一项个人发明。

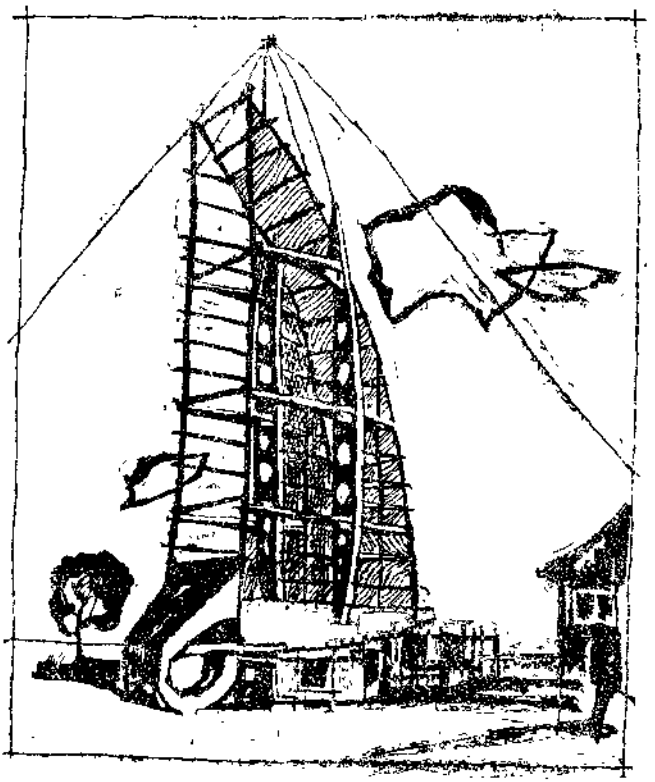
在大战之前，德国的雷达技术与美国和英国的水平相差不远。希特勒认为战争会很快结束，忽视了雷达的作用。当戈林的空军从不列颠战役败北后，德国人才略有领悟，但已为时太晚。当美国的雷达进入S波段和X波段时，德国的雷达技术已显得陈旧不堪。实际上，德国在战争期间使用的雷达从未达到千兆赫兹的水平，即是说他们的雷达从未达到厘米波的量级。因此，当英国皇家空军和美国第七航空军对柏林进行全天候轰炸时，德军处于无力招架的地步。希特勒认为钢铁可以换来时间、可以换来战争的胜利。而美国和英国则用电子技术来粉碎希特勒的神话。

现在让我们来看看在第二次世界大战中雷达技术是怎样发展起来的。

在决定不列颠战役的关键时刻，即在1940年9月，由蒂扎德率领的科学使团到达华盛顿，他们给美国国防研究委员会带去一件礼物——兰德尔发明的磁控管。这在技术史上是件罕见的事情，一项重大的发明就这样随便送给了别人。这是战争的需要。布什将这个磁控管转交给麻省理工学院辐射实

验室。当时美国的雷达还处于米波长的阶段，得此宝物，喜悦之情自不待说。有了磁控管，美国很快就研制出S波段（波长为19.35—5.77厘米）的雷达。雷通公司接受了生产S波段雷达的任务。当他们才生产出样机的时候，美国又研制出X波段（5.77～2.75厘米）的微波雷达。雷通公司旋即投入X波段雷达的生产。1943年，哥伦比亚大学雷达中心研制出使用磁控管的可调频率的微波雷达，工作范围在X波段。这种雷达不仅可以避免干扰，而且可用于发出有源干扰信号来干扰敌人的雷达和通信。

天线是雷达的感官。雷达分辨率与所使用频率有关，频率越高，分辨率越强。但是，对于使用同一频率的雷达来说，分辨率与天线直径有关。如果天线发射的波阵图案模糊不清，萤光屏上出现的目标也是模糊不清的。麻省理工学院辐射实验室设计出泄漏波导天线，解决了分辨率的问题。从理论上讲，电磁波可以沿着矩形截面或圆形截面的波导管传播，如果在波导管上开一小孔，电磁波就可以从这里泄漏出去。他们根据斯文格（J.Schwinger）的计算，设计出能够泄漏精确射电阵列图案的泄漏波导天线阵列，长达数百英尺。这种天线阵列被布列在沿海的一些重要港口，



哈佛大学辐射实验室设计的
用于干扰德国空军的雷达天线

1942年，美国研制出机载雷达平面指示仪（PPI）。这种指示仪能将地面图形投影在萤光屏上，被探寻的目标准确地显示在这个平面经纬图上。是年7月，美国就将具有平面指示仪的雷达装在Lockhead型轰炸机上。

最先在飞机上装雷达的是苏联，他们在1941年已经进行了这项工作。其次是日本，他们在1942年进行了这项工作。但是他们的机载雷达还是米波雷达，不能与美国的机载雷达同日而语。后来，日本在太平洋战争的失利，多少说明日本还未具备进行雷达战的能力。

1942年底，美国在B—17轰炸机的头部装上H2X型雷达。这种雷达工作在X波段，分辨率很高，使飞行员在最恶劣的天气也能准确投弹。在太平洋战争中，美国用B—29轰炸机代替B—17轰炸机，并在飞机头部装上第二代H2X雷达。日本的太平洋舰队没有先进的雷达火控装置。结果，美军在苏里高海峡、萨马海、恩加诺岛、莱特湾等地重创日军，甚至将日本远东舰队司令山本五十六的座机击落，宣告日本在太平洋战争中的失败。

1943年，麻省理工学院辐射实验室研制出波长为10厘米的微波预警雷达（MEW）。它的探程达

150英里，可以同时分辨数十个目标。后来盟军在法国诺曼底登陆时，它起了警戒和掩护的作用。五十年代，美国又将这种雷达装在加拿大，用来监视苏联和北欧的军事活动。

大战末期，德军从荷兰和法国基地向英国的居民稠密区发射V-1和V-2飞弹。V-1飞弹 装有1千磅黄色炸药，以极高的速度低空飞行，实属一种最早的火箭。在反击V-1飞弹的战斗 中，英国调集了数百个移动炮台，布置在伦敦和东部海岸，在微波雷达指挥下将95%的V-1飞弹击落在海上。然而，V-2飞弹却不好对付。V-2飞弹实属原始的 弹道导弹，它对伦敦和安特魏普(Antwerp)构成极大的威胁，使伦敦遭受一定程度的毁坏，重创了安特魏普。对付V-2飞弹的有效应的武器是美国 在1942年发明的“接近引信”。它实际是一个装在弹头头部的小无线电收发机，内含小型电子管（五极管），用24伏电池供电。当炮弹接近目标时，接近引信发出方向性波束，波束被目标反射回来，被接收放大，引起弹头爆炸，从而把目标击毁。接近引信特别适合用于迫击炮和高射炮。1943年1月5日，美国“赫勒纳”号巡洋舰首次用装有接近引信的高射炮弹击落日本的轰炸机。1944年，在反击德国飞弹战斗中，它再

立殊勋。英国的炮台在没有使用接近引信的第一个星期反击战中，只击中了24%的V-2飞弹。在使用接近引信后，命中率就达到了79%。在1945年的冲绳战斗中，美国用这种武器打得日军神风突击队闻风丧胆。

1944年初，德国空军已经不能再对英国南部海岸进行侦察活动了。艾森豪威尔将军率领美军到达英国。1944年4—5月间，英、美军队在多佛尔海峡进行佯攻，并用各种电子对抗武器作了种种假象，迫使德军集结在塞纳河以北的地段。希特勒直觉发现盟军将在诺曼底登陆。但是，德国侦察机从各种混乱的无线电信号中所得出的结果却不能支持希特勒的判断，隆美尔陆军元帅只好君命有所不受了。6月6日零时，盟军在微波预警雷达监视和掩护下，乘数千只军舰向诺曼底开来。同时，空军在英吉利海峡上空撒下数千吨金属箔，产生无源干扰。经过十几小时紧张横渡，美英盟军在诺曼底海岸的维尔河口和奥恩河口之间登陆。希特勒吹嘘的“大西洋壁垒”就这样被突破了。

1945年5月7日，德国无条件投降。7月16日，美国在新墨西哥离阿拉摩戈多86英里的沙漠上爆炸了第一颗原子弹。磨菇云又在人们心头笼罩上一层新

的阴影。不出一月，在日本广岛和长崎掷下了两枚原子弹。这都是发生在罗斯福总统去世（1945年4月12日）之后的事情。一些资产阶级历史学家故意喧染这两颗原子弹的作用，实际上，仅从第二次世界大战的情况来看，原子弹的作用还比不上一个小小的磁控管。正如罗（A.P.Rowe）所说："……很少有人站在公正的立场上热心讴歌磁控管，把它当作在战争中比任何其他有关的单项科学发明更具有决定战争胜负的东西。它远比原子弹重要。原子弹对赢得德国的战争根本没起作用，它只不过缩短了对日的战争。"

事实正是这样。罗斯福总统在世时对雷达更为关心，美国对雷达的投资超过了对原子弹研究的投资。在整个战争期间，他们投资雷达25亿美元，而对原子弹的投资只有20亿美元。

声纳技术在第二次世界大战也得到较快发展。声纳探寻潜艇比雷达更为有效。声纳浮标就是这时发明的。飞机将声纳浮标撒在海上，一旦潜艇进入声纳探测范围，声纳就将截获反射回来的信号，将它放大并传送给轰炸机。轰炸机便跟踪追击，将潜艇炸沉。

无线电导航是伴随雷达发展起来的技术。早在1938年，英国工程师迪派（R.J.Dippy）提出了GEE导航技术。GEE导航需要三个地面站，一个主站，两个从站。主站发射周期脉冲，当第一个脉冲到达第一个从站时，引起它也发射同样的脉冲。这样就能形成一簇抛物线的电磁波。主站与第二从站则形成另一簇抛物线。飞行员根据所接收的两组信号的时差就能在导航图上找到他所在的位置。

1942年，麻省理工学院在GEE导航技术的基础上发明了远程导航技术Loran。他们从特拉华到新科舍的大西洋沿岸进行实验，导航范围可达800海里，夜间可达1500海里。他们使用160米的波长，利用E电离层反射电磁波。这个频率刚好落在业余无线电爱好者的波段。幸而战时业余无线电是被禁止的。战后因频率问题引起了业余爱好者的愤怒。后来就发展出Loran C导航技术。这种导航使用更长的波长（3000米），从而避免了与业余爱好者发生冲突。

在第二次世界大战中，美国曾用远程导航技术来引导“蚊式”轰炸机去轰炸德国。德国也不示弱，他们发明了连续波的导航技术——Sonne。这种

技术不是根据时差，而是根据相位差来导航的。英国在1946年发明的名为 Decca 导航技术，也是根据相位差来确定飞机方位的。

在第二次世界大战中最受飞行员欢迎的是OBEO导航技术——“将轰炸机引向轰炸目标的导航”。这种导航不需要飞行员看地图，他们只需按地面站发来的简单指令飞行。这种导航系统有一“猫站”和一“鼠站”。“猫站”的作用是用信号通知飞行员在一大圆弧线上飞行，这条圆弧通过要被轰炸的目标。当飞机还没到达圆弧线上时，“猫站”发出“点”信号，飞行员就再往外飞行。当飞机超过圆弧线时，“猫站”发出“划”信号，飞行员就往回飞。一旦飞机落在圆弧线上，它将朝目标飞去，在到达目标上空时，就能收到“鼠站”发出的信号，这时飞行员只管投炸。完成任务后，“猫站”就以相同的方式将飞机引导回到基地。

2-3 弹道计算的需要

第二次世界大战中的军事家们都把飞机当作头等的战略武器。飞机的速度快、攻击性强，使用它

和防御它都是同等重要的。胜利虽然总是在进攻中取得，但没有有效的防御就谈不上进攻；以攻为守只有战术的意义，攻守并用才具有战略的价值。

防御不论在战术上还是在战略上都应当是积极的，即只有攻击性的防御才是有效的防御。因此，如何击落飞机和各种高速的飞弹便提到了军事科学的议程上来了。在弹道导弹、激光武器和波束武器等现代进攻性和拦截性武器诞生之前，还得依靠常规火炮来拦截。弹道计算问题迫在眉捷，是当务之急。

1935年，美国陆军军械部在马里兰州的阿伯丁试验基地建立起一个分部，专门从事弹道的计算。该分部在1938年改名为“弹道研究实验室”，由佐尼格（H.Zonig）任主任，维伯伦(O.Veblen)任他的军事顾问。佐尼格在那里组织起科学顾问委员会，招聘了各领域许多著名科学家，如空气动力学家德莱顿（H.L.Dryden）、卡曼（T.von Karman），诺贝尔奖金获得者拉比（I.I.Rabi）、尤里(H.C.Urey)，电子管发明家哈尔(A.W.Hull)，数学家、计算机理论奠基人冯·诺伊曼（J.von Neumann），以及天文学家拉塞尔(H.N.Russell)，等等。

“弹道研究实验室”同宾夕法尼亚大学情同手足，前者送一百名大学毕业生在宾夕法尼亚大学学习差分计算机。他们还委托该学校对实验室的几百名军事工程人员进行短期培训，以造就计算弹道的人才。可以说，阿伯丁的“弹道研究实验室”是当时世界上最大的计算中心。可是，他们使用的计算工具简直不能与现代的计算机相比。贝尔电话实验室发明继电器计算机，国际商业机器公司的IBM600系列计算机，以及差分计算机就是他们最重要的计算工具。此外，大多数工程师还在操作台式机械计算器。那个时候在美国仅有四台差分计算机，两台属于麻省理工学院，一台属于通用电气公司，一台属于宾夕法尼亚大学莫尔电气工程学院。弹道研究实验室的差分计算机是后来模仿莫尔学院的机器制造出来的。

在这里出现了人力与智力的矛盾，任务与工具不相适应的情况。自从牛顿和笛卡尔时代以来，人们习惯了连续变化的现象。这些现象经过简化或模拟化，大凡可用一条曲线或一个微分方程来表示。然而，对于一个既包含变量又包含参量的微分方程，要计算曲线各点精确的坐标，则难以用模拟计算的方法来实现。而必须用分离数字的计算方法。这

种计算方法非但手工计算无法完成，就连差分计算机也得在非常宏观的时间内才能完成。

举例来说。对于

$$\frac{d^2y}{dt^2}+\in(1+K\cos t)y=0$$

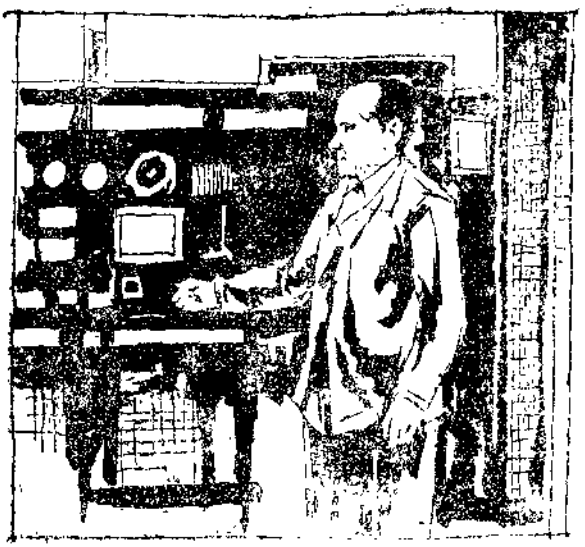
这个二阶微分方程，要求出$\in=1,2,3,\cdots10$和$K=0.1,0.2,0.3\cdots\cdots1.0$时所对应的解，就得分100组来计算。如果用差分方法求解，在$0\leq t\leq\pi$区间，对于$\Delta t=0.0004$就应有7,850条“线”，每条线至少要用十道乘法和更多的加、减法。这样，要把这个微分方程的曲线全部描绘出来，至少要运算7,850,000道乘法，和数目更多的加法和减法。用当时最快的计算机来解这道题目，也得花上半年时间！弹道虽然比这种曲线简单，但要把各种型号、各种口径的炮弹的轨道计算出来，其计算量则无异于天文数字。弹道研究实验室数学家戈德斯坦（H.Goldstine）在1941年指出，计算一个弹道平均需要750道乘法和更多的加、减法。如果考虑各种初始条件（如方位角、脱膛速度、气温和湿度、大气压等等），一种型号一种口径的火炮的完整的火力表，应该包括两千到四千个弹道。如果一个人用台式计算器计算，十秒种运算一道乘法，12小时才能完成一个弹道计算。按照这种速度来计算一个火

力表，其工作量是可想而知的。即便用差分计算机来计算，也要30天才能算出一个火力表。各种型号各种口径的火炮的火力表要到哪一天才能完成？要完成这项任务，就得研制一种比差分计算机快成千成万倍的新型计算机。研制电子计算机就被当作一项当务之急的任务提出来了。

早在1935年，美国人阿丹纳索夫(J.Atanasoff)就已经发明了一种小型电子计算器，运用高斯消除法来解联立方程。他的这台电子计算器未能引起人们注意，对后来的电子计算机也没有直接的影响。

1941年，阿丹纳索夫构思出一种电子数字差分分析器，并将他的设想告诉了莫尔电气工程学院的莫奇利（J.Mauchly）教授，引起莫奇利极大的兴趣。莫奇利向戈德斯坦建议用电子管代替继电器来制造快速计算机，得到戈德斯坦大力支持。

1943年4月，莫奇利、伊克特（J.P.Eckert）和布赖勒（J.G.Brainerd）写出了《电子差分分析器的报告》，提交陆军弹道研究实验室。他们的方案很快就列入了陆军军械部的总体计划。同年6月5日，联邦政府与宾夕法尼亚大学签订了代号为W-670-ORD-4926的合同，并投资十万美元的研制经费。莫奇利负责这项工程的逻辑设计，伊克特负



世界上第一台电子计算机ENIAC。站在机柜前的是这台计算机发明者之一的伊克特

责电路设计，戈德斯坦协助他们工作。1944年夏天，他们完成了电子计数器、累加器的设计和制造，基本逻辑电路的设计也已经完成。美国第一台电子计算机——“数字集成器和计算机”ENIAC（Number Integrator and Computer）就在这紧张的年月制成了。1945年12月，它开始解弹道实验室送来的第一道题目，大约在第二年的二月就完成了计算。遗憾的是，它来得太晚，未能参加第二次世界大战。它被运到洛斯阿拉莫斯（Los Alamos）原子弹试验场，用于计算原子弹爆炸的突变问题。后来又被运到阿伯丁空军试验场，一直运行到1955年10月才停止工作。

ENIAC计算机使用了18,000个电子管，占地面积1,500平方英尺，重30吨，功率150千瓦。它是一台十进制并行计算机，能同时处理十个十进制的数据。它的时钟频率为十万赫兹，比继电器计算机的速度快一千倍，0.2毫秒完成一道加法，2.8毫秒完成一道乘法。但是，它不具备存储程序的能力，程序要通过外接电路板输入。改变程序必须改接相应的电路板，每换一个类型的题目，就得设计相应的外接插板。

2-4 为着三千万个家庭

标准化是第二浪潮社会的重要标志之一。对于具有三千万个家庭的美国来说，电子技术的标准化和电子系统的标准制式，是一个复杂而又重要的问题。美国在1936—1941年间为统一黑白电视的制式所作的开创性努力，为世界电子工业作出了榜样，也为战后彩色电视与黑白电视的兼容开辟了道路。

从表面上看，标准化似乎给发明者造成许多人为的制约条件。但实际上恰恰相反，因为发明家在任何时候都能信手得到所需的各种标准器件。如果没有标准化，他们将寸步难行，甚至连螺丝钉都得自行设计。从工业的角度来看，标准化是具有长期效应的。往往有这样一种情况，标准或制式的制定者如果没有足够的远见，他们所制定的标准或制式是经不起历史考验的，随着历史的推移，会暴露出越来越多的问题，甚至造成积重难返的局面。例如，美国现行的120伏电压供电标准，是上一世纪所作出的错误决定。它与欧洲现行的230伏电压标准相比是落后的，因为输出相同功率的120伏输电线上

的热电损失，将近是230伏输电线的四倍。现在要将120伏的标准改为230伏，似无可能，因为美国已在120伏输电标准上付出了巨大代价，适合120伏电压的设备的价值已达八百亿美元！目前只能同时使用两种或两种以上的供电标准，以便逐步过渡到使用较高的电压供电。

在电视发展的初期，根本谈不上统一的电视制式。各公司生产的电视都有各自的标准，行频、场频、带宽均不相同。美国无线电公司于1935年在无线电制造者协会（RMA）表演了低扫描线(343行)的黑白电视，与其他公司的电视全不相同，特别与哥伦比亚广播公司（CBS）的不同。由于美国无线电公司占有美国广播公司（NBC）的一半股分，它们的电视一旦抛入市场，势必造成两大广播公司的严重冲击。更为严重的是，用户将受到危害，因为购买美国无线电公司电视机的用户不能接收哥伦比亚广播公司的节目，而购买哥伦比亚广播公司电视机的用户不能接收美国广播公司的节目。这就引起了联邦通信委员会（FCC）的关注。联邦通信委员会总工程师克雷温（T.A.M.Craven）在1936年给无线电制造者协会的一封信上说道：应当制定一个标准，使所有电视观众都能收到联邦通信委员会批准

的电视台发射的节目。是年6月15日，联邦通信委员会举行听证会，听取各方面见解，以为将来的电视标准和信道分配确定一个长期政策。无线电制造者协会为此成立了两个电视委员会，一个负责起草电视标准，一个负责电视频道分配。信道分配委员会拟将40至90兆赫的频道分配给电视的七个频道，每个频道宽6兆赫兹，而将120兆赫兹以上的频率留给电视试验用。由于在同一地区不能使用相邻的频道，七个频道显然是不够用的。1937年，联邦通信委员会肯定了6兆赫兹的频道宽度，而将电视频谱扩大到由44到294兆赫兹的范围，其中在50至216兆赫兹范围内有12个频道。

1936年，无线电制造者协会电视标准委员会建议采用这样的电视标准：441行扫描线，隔行扫描，每秒30帧60场，宽高比4:3，双边带负像调制，2.5兆赫视频带宽和调频声音信号。两年后，他们改为建议采用残留边带传输的方式，并相应将2.5兆赫兹视频带宽扩大到4兆赫兹，扫描线也增加到560行。

在1938年9月至1939年1月的四个月中，美国广播公司实行了这一套还未批准的标准。1939年4月30日，美国无线电公司在纽约播送了世界博览会的

实况，他们采用441行扫描线，每秒30帧60场。他们虽然抢先一步，但好景不长，竞争者很快就出现了。哥伦比亚广播公司、飞歌公司、齐尼思公司和杜蒙公司采用的标准均与他们的标准不同。例如，飞歌公司采用低场频（每秒48场）和高扫描（800行）的标准。这种竞争因联邦通信委员会的一个错误决定而加剧起来。该委员会在1939年12月宣布，可批准有限几个公司在电视标准不统一的情况下进行广播。经过几个月实践证明，在这样一个大国没有统一的电视标准是不行的。特别美国居民流动性大，标准不统一势必影响用户的利益，同时又会给刚刚兴起的电视工业设置人为的障碍。出于这种原因，联邦通信委员会在1940年5月不得不宣布不再批准电视台的商业广播，并指出："一俟工程界的意见准备证明互相竞争的广播（电视）系统中的任何一个系统是标准的系统，委员会就要考虑批准它的完全商业化。"这就为成立国家电视标准委员会（NTSC）奠定了基础。

美国第一届国家电视标准委员会成立于1940年7月，并于1940年7月31日举行了第一次会议。该委员会由无线电制造者协会工程部主任、通用电气公司总经理贝克（W.R.G.Baker）博士领导。贝克

要求国家电视标准委员会必须面向各大电子公司，吸收他们的高级工程师参加，并要求采用议会民主，通过听证会收集各方面意见。委员会168名委员开了四千人次的会议，编纂了60万字的报告和会议记录，看过25种不同制式的电视表演。在此基础上，他们提出了美国的第一个统一的电视标准，并于1941年3月8日在全体委员会上通过。同年4月，联邦通信委员会批准了这套标准，决定从1941年7月1日起全美国的电视台采用这套标准进行广播。这套标准的主要内容是：电视屏幕宽高比4:3，调幅图象信号，调频声音信号，频道宽6兆赫兹，场频60场，525行扫描线，等等。

这就是历史上关于黑白电视的NTSC制，为了与后来的彩色电视NTSC制相区别，我们把前者称为第一个NTSC制，把后者称为第二个NTSC制。第一个NTSC制的成功之处，在于它与第二个NTSC制是协调的，即是说，第一届国家电视标准委员会在制定黑白电视标准时充分考虑到了与将来的彩色电视兼容的问题。关于这个电视标准也还有一些争议，主要反映在对扫描线的看法上面。如美国无线电公司批评它的扫描线多了，而飞歌公司批评它的扫描线少了。如果将来会重新修改这个标准的话，

扫描线将会超过一千行。

由于统一了黑白电视的标准，美国三千万个家庭的利益得到了保护，在美国任何一个地方购买任何一个公司的黑白电视机，都能收到黑白电视（包括后来的彩色电视）的节目。截至1954年11月，美国已有了三千一百万台黑白电视接收机和416个黑白电视发射台。这不能不说是第一个NTSC制的成果。

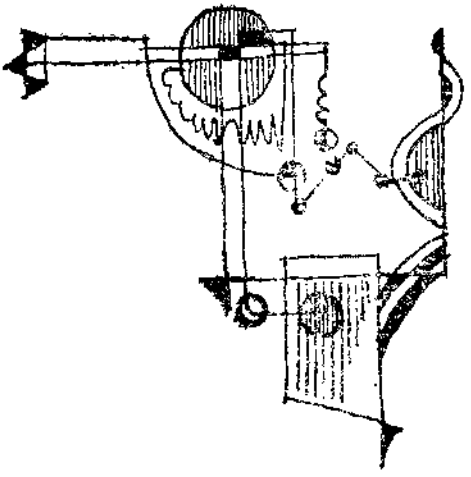
虽然黑白电视的NTSC制确定于1941年，由于第二次大战的经济压力，电视工业进入了“休眠”期。生产显象管的公司转为生产雷达显示仪，生产电视机的公司转入生产通信和雷达装置。研究工作只有少数人在进行。在大战结束的一年，美国无线电公司的罗斯（A.Rose）、魏麦（P.K.Weimer）和洛（H.B.Law）发明了正析摄象管。这种摄象管使用慢速电子束扫描储存图象的光电嵌镶幕，与用快速电子束扫描的方法相比，能够摄制更清晰的图象。这是大战中孕育出的一项重要的电视技术。

美国在第二次世界大战前已经开始调频无线电广播，并已取得显著进展。截至1940年，美国正在使用的收音机数目是1,300万台，其中就有

35万台是调频收音机。大战中，调频广播事业放慢了步伐，也进入了“休眠”状态。在这一期间，关于调频广播的频谱有较大的调整。例如在1941年1月1日，联邦通信委员会宣布将44至50兆赫频段分配给调频广播，实际上是占去了电视的第一频道。这不能不引起矛盾。随着时间推移，矛盾越发严重起来。1943年，联邦通信委员会要求无线电工程师学会（IRE）重新考虑频率分配问题，并成立了“无线电技术规划委员会”，以便协助政府的“部际无线电顾问委员会”重新划分频谱空间。1944年，这两个委员会着重处理了三千兆赫到三万兆赫的频率分配。在他们的工作的基础上，联邦通信委员会在1945年6月27日宣布，将42至50兆赫的频段拨回给电视作第一频道，将调频广播的频率范围提高到88—106兆赫的频段。自不待说，这一变动也带来了新的矛盾，因为这意味着原有的几十万台调频收音机已经过时，同时又严重危及已得到批准的46个调频广播电台以及正在建设的248个调频台的利益。用户和厂家对此提出抗议，但均被联邦通信委员会否决，其理由是大多数调频收音机具有调幅波段，用户仍可接收调幅广播；尚且当时已有人发明廉价的频道转换器，装在原有的收音机上就

能收到88—106兆赫的调频广播。

从长远来看，这次调频波段的移动是积极的，也是及时的。它所造成的微不足道的损失为其后取得的巨大收益所补偿。如果不在那时采取强硬措施来提高调频的波段，其后果也会象美国现在仍然采用的120伏供电制一样——积重难返。



第三章

在战后分离元件的时代

3-1 “蓝色香蕉”

由于两次世界大战都没有在美国国土上进行，在第二次世界大战中美国又是反法西斯阵营的最大的“弹药仓库”，它的常规工业、军事工业，特别是电子工业优先地发展了起来。第二次世界大战结束后，美国的电子工业在世界上已遥遥领先于其他西方各国，它在研究和开发彩色电视、存储程序计算机、国防电子学和半导体分离元件等方面所取得的成就，在世界上都具有举足轻重的影响。

在这一节中，让我们先来看看美国在战后发展彩色电视和制定彩色电视国家标准（NTSC）方面所取得的成就，以及NTSC制对各国电视制式的影响。

战后的美国，面临着如何将彩色电视搞上去而又不危害已取得的黑白电视广播系统的问题。当时，微波电缆还没有通过大西洋，电视中继卫星更是十分渺茫。因此，美国的电视标准还不具备国际的性质。但是，作为一个具有936万平方公里和将近两亿人口的技术大国，它发展彩色电视和制定彩色电视标准是具有潜在影响的。

1946年，哥伦比亚广播公司（CBS）提出了他们的场序制彩色电视标准（曾在战前提出过类似的标准，详见1.5）。他们的标准是：525行扫描线，每秒144场，频道带宽12兆赫兹。这种电视的彩色浓度和色调保真度较好，但由于没有采用频谱编织技术，需要较大的带宽，结果造成电视信道挤拥。这一系统在1947年3月被联邦通信委员会所否决。

与此同时，美国无线电公司（RCA）提出了一种同时制彩色电视标准。这种标准是：扫描线525行，每秒60场，三基色信号分别通过6兆赫兹的频带传输。这种电视的优点在于能与当时的黑白电视兼容，黑白电视机可以接收这种彩色电视的绿色信号。由于他们也没有采用频谱编织。所占频谱带宽比哥伦比亚广播公司的还大。鉴于这种情况，联邦通信委员会同样否决了这种彩色电视标准，并于1948

年9月宣布停止批准任何新的彩色电视台投入广播（直到1952年4月才解冻）。

战后的彩色电视一度处于徘徊状态，黑白电视的发展却弥补了这一损失。截至1949年，黑白电视已占满了甚高频(VHF)的12个频道，而且还在向预留给彩色电视的特高频（UHF）扩展。这就引起了频谱混乱。压缩电视带宽的问题成了另一个重要问题。1949年7月，联邦通信委员会宣布：彩色电视的每个频道不能超过6兆赫兹的带宽。

哥伦比亚广播公司作出了迅速响应，他们在1949年联邦通信委员会的一次听证会上表演了6兆赫兹带宽的彩色电视，其扫描线为405行，每秒144场。当时三枪式荫罩管还没有发明，他们的显象管和摄象管前面都要附加一块三基色滤色盘。这种系统无需将色信号和亮度信号分开，其彩条信号基频为58,320赫兹（$=144\times405$），在6兆赫兹的频带中尚可取100次谐波，且谐波之间还有空带用来安排全电视信号中的其他信号。由此看出，哥伦比亚广播公司能够较早地将带宽压缩到6兆赫兹。他们的系统的另一个优点是，其传输原理和机器结构均较为简单。因为这些原因，联邦通信委员会在1950年10月10日批准了这种彩色电视，这就是电视史上

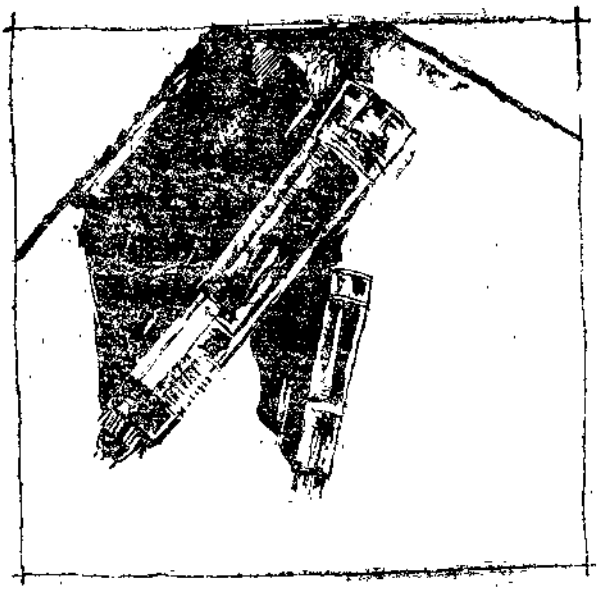
著名的CBS制。然而，CBS彩色电视标准不能与黑白电视兼容，拥有黑白电视机的用户将无法收到彩色电视节目。美国无线电公司已拥有最大的黑白电视机市场，如果CBS制在美国施行，势必影响他们的既得利益，同时还会在用户面前丧失信誉。美国无线电公司就这个问题向联邦最高法院起诉，要求阻止推行CBS彩色电视标准。但是，联邦最高法院的裁决却支持了联邦通信委员会的决定。1951年6月，哥伦比亚广播公司彩色电视系统在纽约正式广播。不出所料，广大用户反对这种电视，五个月后他们就被迫停播了。

美国无线电公司和哥伦比亚广播公司在彩色电视是否必须采用黑白电视兼容的问题上的斗争，其激烈程度不亚于19世纪末交流电论者和直流电论者之间的论战。哥伦比亚广播公司坚持推行非兼容的电视标准，要优先将彩色电视发展起来，而置黑白电视于不顾。他失去了基本用户，失去了市场。与此相反，美国无线电公司兼顾了黑白电视用户的利益，获得了信誉，获得了市场。这场斗争无疑对哥伦比亚广播公司不利。此外，他们在技术上也还有许多困难。如他们采用6兆赫兹带宽，却又用分场扫描的方式来显示红、绿、蓝三色的图象，这与

同带宽只进行亮度扫描的黑白电视相比，其分辨率只是后者的三分之一。

战后的几年中，美国无线电公司将研制兼容式的彩色电视系统放在各项工作的首位。该公司总裁萨诺夫（D.L.Sarnoff）调集了公司的人力物力，分门别类地进行攻关。他们把主要力量放在如下两个方面：（1）研制彩色显象管；（2）研究彩电传输理论和设计线路。荫罩式彩色显象管就是在这紧张的岁月中诞生的。荫罩式显象管的构思源出德国人福莱希格(W.Flechsig)，他早在1938年已经申请德国专利，但当时的技术还不足以将三基色磷光物质淀积在屏板上，而且也还无法将众多的纤细导线精细地连在磷光点上。1949年，美国无线电公司的洛（H.B.Law）采用平板印刷技术实现了三基色磷光体的淀积，并制造出精细的金属荫罩。他在这些技术的基础上发明了三枪式荫罩显象管。接着，美国无线电公司另一位洛（R.R.Law）发明了单枪荫罩显象管。

1950年1月，贝克博士（W.R.G.Baker）再度组织起“国家电视标准委员会”，这就是美国的第二届国家电视标准委员会。它的任务是制定全国彩色电视标准。他们从一开始就倾向于制定一种能与



美国无线电公司在1945年发明的正析摄像管（上）和在1950年发明的视象管（下）



美国无线电公司在1950年发明的荫罩式彩色显象管。图中所示是1954年生产的19吋彩色显象管

黑白电视兼容的标准，因为他们的前身在1941年提出黑白电视国家标准时就已经充分考虑到将来与彩色电视兼容的问题。他们做了如下几项研究工作：

（1）研究人眼对彩色突变的视觉能力，确定了较为合理的三基色的色域。

（2）研究出将三基色信号变成一个亮度信号和两个色差信号的编码方法。他们正确地选用色差信号，保证在色差信号中黑色电平和白色电平都为零。这就保证了黑白电视机只能收到彩电信号中的亮度信号，从而达到兼容的目的。

（3）证明频率共用技术可用于压缩彩色电视的频带。他们在6兆赫兹带宽中挑选出3.58兆赫兹的频率作为彩色副载波，利用平衡正交调制（调幅和调相）将两个色差信号调制在彩色副载波上。

1953年7月，国家电视标准委员会投票表决通过了这个彩色电视制式，并将它推荐给联邦通信委员会。同年11月，联邦通信委员会批准了这个彩色电视标准，宣布它作为国家彩色电视标准，从1954年1月正式开放广播。这便是美国的彩色电视NTSC标准，也就是第二个电视的NTSC标准。

美国彩色电视NTSC标准并不是完美无缺的。它由于以正交调制为基础，色调不稳性就是必然的

现象，还在试行这个标准时，美国无线电公司和国家广播公司经常发射一些五彩斑斓的图案来校准色调，不时会出现一些令人啼笑皆非的现象。例如，有一次电视银幕上出现一幅走了色调的香蕉——“蓝色香蕉”。以后便有宣传广告画出了蓝色香蕉。萨诺夫从这些广告中看出了观众的善意动机。他知道，人们所希望的并不是否定兼容的彩色电视标准，他们所希望的是进一步改进彩色电视NTSC制式，使它变成更完善的形式。美国无线电公司在1954—1964年的十年中，为改进这个电视系统就投资了一亿美元。

美国的彩色电视NTSC标准对欧洲和日本都有很大的影响。它的成功之处在于证明了彩色电视与黑白电视可以兼容。要摘出一个彩色电视节目是不容易的，一旦摄制出来，总是要让它尽可能普遍地传播出去。这样，充分利用为黑白电视建立的微波中继网来发射彩色电视节目就成了欧洲电视工业的一个重要课题。

战后的文化繁荣给电视工业以巨大的促进，各国都把电视当作文艺和娱乐的重要手段，当作传递信息的重要工具，予以高度重视。就连山区小国瑞士也曾一度为发展电视事业作出了贡献。

这些有利条件是否表明一个彩色电视的国际标准指日可待了呢？历史证明，这样的国际统一标准从来未建立起来。大西洋把欧、美两大文化中心远隔千里，各国的经济和政治条件又有很大的差别，加上各资本主义国家在电视工业方面的既得利益悬殊，即便有马歇尔计划这个泛美欧的政治纲领，也不可能使各国利益均沾，因此，绝不可能建立这种国际的统一标准。加上欧洲人对于“蓝色香蕉”事件不能不有所考虑，认识到美国的NTSC标准 只能作为一国的标准，至多只能作为制定各国彩色电视标准的参考或出发点。从1954年起，西欧各主要国家就开始制定本国的彩色电视标准，截至目前为止，已经提出了十几种兼容的彩色电视标准，其中除 NTSC 制外，比 较 有名的是TSC制、福朗斯制、SECAM制、FAM制、PAL制等。

人类智慧可用人类对空间开发和分配的程度来量度。频谱是我们所指的广义空间中的一个特殊空间。马可尼时代的人们使用千米长的无线电波进行通信，二十年后人类就使用百米长的短波进行通信了，在频谱空间跃迁了一个数量级。第二次世界大战前后，黑白电视又开拓了 甚 高 频（VHF）的领

域，人类就掌握了米波长通信技术，频谱空间又跃迁了两个数量级。接着，彩色电视又开拓了特高频（UHF），在频谱空间又跃了一个数量级。微波通信和卫星中继通信进一步开拓着这个频谱空间，目前已使人类掌握了30千兆赫的频率。激光通信更是激剧地扩展了人们开拓频谱空间的能力，使我们进入远红外频谱的通信阶段。现在与马可尼时代相比，人们在无限的频谱空间整整跃迁了九个数量级，充分反映出人类巧夺“空间”的能力。

人类巧夺“空间”能力的另一表现，是人类具有精巧安排已经开发的频谱空间的才能。我们现在已经分配好中波通信、短波通信、甚高频通信、特高频通信和超高频通信的范围，并已赋予它们各自特殊的功能。从千米波长到厘米波长甚至亚厘米波长的无线电波已为常规的通信技术所使用，但对它们的开发并没有到头。就电视所使用的甚高频和特高频段来说，虽然它们已经拥挤不堪，但这仅仅是相对常规通信技术而言。随着计算机技术的发展，科学家们认为这个空间可以借助于新的概念进行新的开发，可以创造新的通信原理来压缩每个信道所占的频带，从而大大扩展这些频段的通信容量。

新概念从何得来？人们尚无法给出确定的答

案，不过已有不少人在那里努力求索。曾两次参加美国国家电视标准委员会的 芬克（D.G.Fink）博士在1976年发表的《电视的展望》一文中指出：如果从根本上改变现在电视的扫描方式，我们就能使每个电视频道从现在的6兆赫兹的带宽下降到几十千赫兹的带宽。这样就能大大降低目前甚高频和特高频空间的拥挤，有效地克服相邻信道中的信息相互干扰的现象。现在的全电视信号带宽是由扫描行数和场频这些量来决定的，实际上场周期是如此之小，以致同一图象从一场到下一场只有极少部分发生了变化。如果我们不是整场整场地扫描，而设法只将变化的部分扫描出来，那么我们就能节省频带。计算机技术的发展，存贮器的存储量的增加，为这种设想提供了前景。我们可以把不变的象素存贮起来，只对变化的部分进行适当的扫描。到那时也许又会出现一次电视制式和标准的革命。芬克在文章中写道：“那时，选择电视标准一定会重新开始，第三届‘国家电视标准委员会’的日程将会到来。”

3-2 横跨四十四个数量级

自从1967年科学家用射电天文望远镜观察到脉冲星以来，为了解释脉冲星射电信号与宇宙物质的关系，意想不到两个极端世界的科学——亚原子科学和宇宙起源的科学——联系起来了。人们一方面可以通过电子显微镜和借助于基本粒子的物理理论间接地了解到10^{-10}厘米的微观世界的结构；另一方面可以通过射电望远镜获得来自100亿光年外的星体的信息。100亿光年等于10^{28}厘米。因此可以说，我们对物质世界探索的范围横跨了四十四个数量级。

爱因斯坦创立的相对论指出，空间和时间不可分割，任何物体都在四维空间中不停地运动着。无线电技术把这一原理变成了最直观的形式：远程导航，脉冲多谱勒雷达和射电天文望远镜，巧妙地将时空概念揉合到应用技术中来。现在，我们热衷于研究地球和宇宙的起源；然而，我们对地球的历史的了解远不及对遥远的星体的了解。我们几乎还没有一项技术可以获得45亿年前地球形成时所留下的

信息，而却能根据100亿光年以外发来的射电信息研究100亿光年外的星体在100亿年前的情况。

伽利略在1609年发明光学天文望远镜后，最先观察到木星的四颗卫星，即现在所说的伽利略卫星。这是人类将视觉伸向太空的一次革命性的创举。之后，随着天文望远镜口径的增加，人们的视野就扩展到整个银河系。赫谢尔（Sir J.Herchel）绘制出第一张银河系结构图。可惜，在整个19世纪人类对银河系的认识没有根本性的进展，银河系被当作了整个宇宙。当时人们的视野充其量不过十万光年。虽然在19世纪下半叶望远镜配上了慢速曝光设备和分光装置，有人已经发现仙女星云，却不敢肯定它是河外星系。

帮助人类根本改善对宇宙认识的是射电技术。射电天文学是第二次世界大战后发展起来的科学，它赖以建立的射电技术却可以追溯至第二次世界大战之前。1932年，美国人詹斯基（K.G.Janskg）用工作在波长为14.6米的旋转方向天线研究无线电话的静电干扰时发现，尽管将所有噪声源排除后，在他的接收机中仍然存在“嘘嘘”声。他推测这种噪声不是来自地球，而是来自银河系深处某一射电源。1940年，美国伊利诺斯州惠顿城的无线电业余

爱好者雷伯（G.Reber）在自己家园中建立起一个直径为31英尺的射电望远镜，他用高频率的锐天线波束测量了宇宙噪声源的分布。他用的是人类第一台射电望远镜。现在西弗吉尼亚州国立射电天文台树立着雷伯射电望远镜的复制品，以纪念他的功绩。

望远镜是人的视觉器官的延长，它们与眼睛都服从于相同的角分辨率关系，光学望远镜和人眼都工作在可见光范围，由于光学望远镜的孔径数百倍于人眼的瞳孔，它们的角分辨率就等于人眼的数百倍。对于射电望远镜来说，要求达到这样高的分辨率有一定的困难，因为射电信号只能处于厘米波段，毫米波射电信号会被氧气吸收，分米波射电信号又被电离层反射回来。厘米波波长是可见光波波长的几千倍，如果要求射电望远镜达到光学望远镜的角分辨率，它的天线直径就应当数千倍于光学望远镜的孔径。如果要求它们具有美国威尔逊山上100英寸天文望远镜和巴洛马山上200英寸望远镜的角分辨率，它们的抛物面天线的直径就得有数十英里之长。这一要求当然难以实现，不过，牺牲一定的分辨率来求得对宇宙的广度和深度的探测，则是完全可以做得到的。

射电天文学家鲍温（E.G.Bowen）曾经指出，抛物面天线的造价与天线尺寸的2.7次幂成正比。即是说，尺寸扩大一倍，造价就增加到八倍。我们从第二次世界大战后射电望远镜天线尺寸的不断增加，可以看出为射电天文学的发展付出了什么样的代价。

位于阿纳科斯蒂阿的美国航海研究实验室在战后建立的一个天文望远镜，天线直径为50英尺。接着，哈佛大学就建立了天线直径为60英尺的射电望远镜。六十年代初，位于加州的“喷汽推进实验室”建立了一个用于监视卫星的射电天线，其直径为85英尺。与此同时，加州理工学院在“欧文斯谷射电天文台”将射电望远镜天线尺寸推进到90英尺。英国和澳大利亚的进展更为惊人。英国在曼彻斯特约德里尔河岸建立的一座射电望远镜，可转动抛物面天线直径达到了250英尺。澳大利亚也安装了天线直径为210英尺的射电望远镜。

1967年，美国科学基金会投资在弗吉尼亚州的“绿岸”，建立了直径为328英尺射电望远镜。而波多黎各的射电望远镜的天线阵列，复盖了阿雷西博的一个山头，面积达18.5英亩。它的角分辨率是约德里尔河岸望远镜的16倍。它的能力比曾经把射

电信号投向火星的米尔斯顿山（Milestone Hill）上的射电望远镜强1万倍。它最早接收到100亿光年以外的星体的射电信息。[1]

大战后，天文学家最先用射电望远镜分析了太阳这颗最近的射电源。他们发现，太阳的射电信号不由光球产生，而由日冕产生。射电望远镜成为一种灵敏度更高的光学温度计，科学家们根据日冕的射电信号的波长，判断太阳表面温度高达一万度，愈往外面温度愈高，至日冕边缘，温度就达到了一百万度。人们早已知道地球“磁暴”与太阳黑子和斑耀的关系，但只是在射电望远镜问世后，科学家们才算真正掌握了黑子和斑耀产生的实际过程。当斑耀产生时，一群高速粒子以三分之一到二分之一的光速突破日冕而抛向太空。这群粒子本身不产生射电信号，只是当它们冲击太阳大气时才产生射电源。这是一种等离子振荡型的射电信号，其势宛如超声波弹头产生的冲击波那样。在这群快速粒子之后是一群慢速粒子，它们以每秒500至1000公里的速度离开太阳引力场，大约24小时后到达地球上空，激起地球“磁暴”。跟在慢速粒子之后而来的是一阵巨大而又散乱的同步加速型射电信号。

在射电望远镜所能发现的射电源中，只有10%

才能用光学望远镜看到。例如，波尔顿(J.Bolton)在1949年发现的巨蟹座星云射电源，就是我国古代天文学家在公元1054年发现一颗超新星爆炸后形成的星云。随着时间的推移，它的亮度逐渐减弱，目前已经不能用肉眼观察到它，而它所遗留的残骸仍然发射出很强的射电信号。

1967年，英国天文学家休伊斯和乔斯林·贝尔用射电望远镜发现一些特异的射电源，它们发出极精确的短促脉冲，最长的周期不过4秒，最短的周期是0.033秒，即每秒发射30个脉冲。如果说这些射电信号是由于脉冲星自转而发射出来的话，那么即便是白矮星也不会达到每秒30周的自转速度，因为在这种情况下任何已知的恒星都会自行破裂。经过分析，这种脉冲星是致密的中子星，在恒星坍缩时它们的自由电子被挤压进了原子核，与质子结合而产生中子，所形成的中子星的密度高达10^{14}克/（厘米）^{3}。休伊斯和贝尔因这项发现获得了1974年诺贝尔物理学奖。

X-射线是波长极短的电磁波，其波长几乎是可见光波长的千分之一。如果在地球上能观察到太空的X-射电信号，那倒是十分经济的，因为射电望远镜工作在X射线的波长范围时，它们的天线直径

可以做成光学望远镜孔径的千分之一而丝毫不会降低它们的角分辨率。遗憾的是X-射电信号不能穿透大气。因此，卫星的出现帮了天文学家的大忙。1970年，美国从肯尼亚发射了第一颗X-射线探测台，发现了第一个X-射线射电源——天鹅座X-1。经初步分析，这个X-射线射电源是由一个"黑洞"和一个蓝超巨星组成的双星。"黑洞"象一个贪得无厌的巨兽，吞噬了附近的一切，而将X-射线辐射出来。射电天文技术业已证明，凡是能发射X-射线的双星，其中大凡存在一个黑洞。

发现星际分子，是射电技术的又一功劳。早在1951年，伊文（H.I.Ewen）和普赛尔（E.M.Purcell）用射电望远镜发现银河系存在大量处于基态的氢分子，这种氢分子的背景温度极低，是光学望远镜和分光计无法发现的。截至1978年，已经发现的星际分子就达55种，其中有氢、一氧化碳、水分子、甲醇、甲醛。最可观的是发现了带有9个原子的乙醇。据称，其数量超过了有史以来用发酵工艺所制成的全部酒精量。这些星际分子的发现，对于研究宇宙是否还存在其他生命以及地球上生命的起源，无疑有着重要的意义。

射电天文望远镜是人类截获宇宙信息的重要工

具，它推动着人类去揭开宇宙的奥秘、去揭示生命的根源，从而又产生出新的信息。人们对信息有不同的理解，如有人认为：信息是宇宙物质分布的不均匀性。这种观点撇开了信息的感受者的因素，把信息当作客观的、守恒的东西，正如物质和能量既是客观存在的又是守恒的那样。然而，大多数人越来越认识到信息不唯独是一种客体，它却有点象主体和客体的混合物。信息当然最先由宇宙物质分布不均匀而产生，如果没有这个基本条件，别说信息不存在，就连人类也不会存在。但是，宇宙物质分布不均匀性不能作为信息量的量度，因为这种不均匀性要有接收者，这个接收者就是人类。人类一旦接受客观世界的信息，就会产生概念、认识；就会推动自身的活动来改造自身的环境，利用原始的信息来再生新的信息。这样一来，只要人类是信息的接收者、使用者和处理者，信息永远不会守恒。信息的这种可再生性质，在计算机技术、通信技术、射电技术以及其他先进的电子技术迅速发展的时代日益显示了出来。

3-3 第一代计算机

自从牛顿和笛卡尔时代以来，人们已经通过对自然和人类自身的观察牢固地形成一幅幅连续变化的图景，电子的运动，抛物体的轨迹，振动子的波形，以及人的思维受激素的刺激，等等，似乎无一不受到因果律的严格支配。然而，本世纪以来的一系列的物理学和电子学的重大发现，开始动摇了这种观念。能级的跃迁，光致电发射、激光，物质的波粒二象性，原子核的突变等等，已经不能用连续渐变的方法予以解释，就是连弹道这样一种无疑是一种连续变化的东西，也不能简单地运用激分方程来计算，而必须借助于数字方法。由于电子计算机运算快，科学家们就希望用它们来完成模拟方法难以完成的数学计算和处理工作，科学哲学家们也勇敢地迎了上去，希望通过这种前所未有的“特异”的工具来检验以往的科学思想的基础。将科学家和科学哲学家的这种共同愿望结合起来的，首推电子计算机理论的奠基人冯·诺伊曼（J. von Neumann）。早在四十年前他就指出，本世纪科学思想和

科学方法的最大成就，将是用分离数字的系统来处理自然和人类。

实际上，诺伊曼关于计算机理论的一个更重要的成就，是提出存储程序的设想。我们计算任何问题，都得有个程序。儿童一进入小学，老师就教他们如何做加法：个位对齐，从个位加起，逢十进一。这就是一种最基本的程序。我国和日本从古至今所用的珠算，也有一套基本的运算程序，这些基本程序都是一些准则，掌握在人的手中，在运算中被灵活运用。由于各人的经验各有差异，所以运算速度也就各不相同。人的平均反映速度大概是0.3秒，在运算中还会经常出错。原因在于掌握在我们手头上的程序经常受到我们不能察觉的随机因素的干扰。

ENIAC计算机将每一道题目的运算程序组合在一起，用一块外接插的电子线路来执行。这样一种组合包括成千上万个指令，每道指令又按照约100千赫兹的时种频率运行。其速度和准确性远非人的能力所及。随机因素在这里几乎等于零。这是计算史上一个重大的进展。早在ENIAC的研制过程中，伊克特和莫奇利已经感觉到，接插电子程序板并不是理想的结构，因为对每一个类型的题目都

得设计一个电子程序接线板。冯·诺伊曼也认为，ENIAC 可以改造成一种具有有限存储程序的计算机，实现这种计算模式的方法，是在计算中设置可以存储程序的单元，通过输入的指令来灵活调用程序。这样就能从一个题目的计算转到另一个题目的计算。冯·诺伊曼在1946年与戈德斯坦、伯克（A.W.Burk）合著的《电子计算机工具的逻辑设计的初步探讨》一书中这样写道：

“计算机必须具有以某种方式不仅存储一种给定的计算所需要的数字信息……和中间结果，而且还必须具有存储掌握数据运算实际程序的指令的能力。在通用计算机中，这些指令是机器的整体部分，构成计算机设计结构的一个部分。”

现在很难说清哪一台计算机是世界上第一台存储程序电子计算机。不过，最早研究这种计算机的人还是伊克特和莫奇利。1945年3月，正在紧张安装ENIAC的时候，冯·诺伊曼来到莫尔电气工程学院，与伊、莫二人以及伯克、戈德斯坦等人进行了两天会谈，初步拟定了存储程序电子计算机EDVAC的方案，初步确定了硬件结构：采用水银延时线作存贮器，具有算术单元、控制单元，并用磁带作输入和输出媒介。他们还决定使用串行运算，

每个时刻只有一位数进行加、减、乘、除，用短延时线给运算单元输送位数。他们从1947年开始研制存贮程序计算机。在研制过程中，冯·诺伊曼最先发现，当指令或程序存贮在快速电子存贮器时，可由机器本身加以修改，他于是设计出循环码和变址寄存器及相对寄存器。1951年初，EDVAC计算机宣告制成，它包括一个快速存取存贮器，一个中央算术单元，一个中央控制单元，输入和输出设备。其中，存贮器由256根延时线组成，每线能够存储32位的二进制数的字32个；它能存储偏微分方程的初始条件、边界条件，运算的部分结果，同时能够存贮程序，外部存贮体可以是穿孔带、磁带、磁线、感光胶卷，以及这些东西的组合。这些信息载体可用于输入，输出及作辅助低速存贮器。中央算术单元包含有若干寄存器（一字长延时线），用来存贮预备数和中间结果数。算术单元在中央控制单元指导下进行四则运算和开平方运算，进行二—十进制和十—二进制的转换，同时还能根据第三个数的符号来选择两个数中的一个。后面这种功能对于程序的转换是十分重要的。EDVAC计算机共用了5,900个电子管和1,200个半导体二极管，它的时钟频率为1兆赫兹。EDVAC是Electronic Decrete

Variable Automatic Computer（电子分离变量自动计算机）的缩写。五十年代的存储程序计算机基本上都是在EDVAC基础上发展起来的。

英国剑桥大学威尔克斯（M.V.Wilkes）教授设计的EDSAC计算机——电子延时存贮器自动计算机（Electronic Delay Storage Automative Computer），是另一台最早的存贮程序计算机，这台计算机也是一部串行机，使用水银延时线存贮器。该存贮器由32根水银延时线组成（每线能存贮32个字，每字17位），相当于1024个存贮单元。早在1946年11月莫尔电气工程学院召开学术会议讨论EDVAC计算机施工方案时，威尔克斯有幸参加了会议，他带着EDVAC的方案回到英国，很快就设计出EDSAC机，并赶在EDVAC机诞生之前制造出了EDSAC计算机。

在ENIAC计算机以后最引人注目的第一代电子计算机，要数麻省理工学院数字计算机实验室研制的“旋风”计算机。早在1944年，弗里斯特（J.W.Forrester）领导的“布朗伺服机构实验室”用风洞来研究飞机的稳定性，他们原先打算设计一种模拟计算机来处理数据。后来受莫尔电气工程学院的ENIAC工程的影响，弗里斯特在1945年决定设

计数字计算机。他得到麻省理工学院和美国海军“特种器件中心”支持。不久，莫尔电气工程学院的EDVAC计算机方案见报了，弗里斯特就进一步决定研究存储程序电子计算机。上面已述，EDVAC是串行机，串行机的速度受到字长的限制。并行机的速度虽然不受字长的限制，但随字长增加其复杂程度会显著增加。鉴于处理飞机稳定性需要二千条指令的情况，并在兼顾计算机体积大小基础上，弗里斯特决定研制16位字长的并行计算机。1946年英国曼彻斯特大学教授威廉斯（F.C.Williams）发明了阴极射线存储管，即“威廉斯管”，数字信息以有无电荷的方式存储在“威廉斯管”的屏幕上，并以矩阵元的方式出现。威廉斯在同年12月11日申请了该项发明的专利。消息很快传到了美国，弗里斯特小组决定使用威廉斯技术来实现计算机的内存储。1947年初，他们完成了全套逻辑设计，1949年就对存储器进行试验，1950年初，旋风机宣告制成。该计算机用了5,000个真空管和11,000个半导体二极管。

“旋风”计算机的研制受到美国海军研究办公室（ONR）和美国空军的资助。空军起先希望用“旋风”计算机对火炮、飞机和雷达进行实时控

制。随着苏—美冷战加剧，特别是在苏联试验成功原子弹和制造出洲际轰炸机后，美国空军对“旋风”计算机寄托了更大希望。他们以每年一百万美元的资金投注在这台计算机上。当时正值空军坎布里奇研究中心在研究用电话系统传输雷达数据。如何将“旋风”计算机作为控制中心，将各地的雷达站连接成一个巨大的防空系统以增加雷达在低空范围的跟踪的覆盖面积，便是“旋风”计算机小组面临的重大课题。麻省理工学院林肯实验室应运而生，弗里斯特领导的数字计算机实验被当作林肯实验室的一部分，专门应付美国国防部的这分差事。1951年，他们终于把“旋风”计算机与当时的“半自动防空系”（SAGE）联系起来。几十个开关和数千条电话电缆把位于卡德角的半自动防空雷达预警系统截获的信息送到麻省理工学院巴塔大楼，由“旋风”计算机进行处理，分析和存储。

1953年，“旋风”计算机的存贮器改用磁芯材料，使存贮器增加到16位的2,048个字，加法运算速度达到24微秒，乘法达到40微秒，指令传递时间达到16微秒。另外还增设了一个磁鼓外存贮器和五个磁带外存贮器。

大约在1945年底，冯·诺伊曼到普林斯顿大学

“高级研究所”任职，在那里与戈德斯坦和伯克写下了以上所述的关于存储程序计算机的著作。并组织波米伦（J.Pomerene）和比格劳（J.Bigelow）研制IAS计算机。该机器在1950年制造成功，它只用了2,600个电子管。1951年夏天，洛斯阿拉莫斯原子弹试验小组来到普林斯顿上机计算，创造了连续工作60天而不出故障的先例。

UNIAC——万能自动计算机，也是一台颇有名气的电子计算机，它由伊克特——莫奇利计算机公司设计，当这个公司在1950年合并于“莱明顿——兰德公司”后，就由莱明顿——兰德公司在1951年生产出来。它是一个串行机，工作在2.25兆赫的时钟频率。它使用了5,000个电子管，其存贮器用水银延时线构成。1952年，美国用这台计算机来对总统选举进行预测，预测结果是：艾森豪威尔将当选为美国总统。这件事惊动了美国，一举把莱明顿——兰德公司推到了前所未有的引人注目的地位。其他一些较为著名的第一代电子计算机还有“工程研究协会有限公司”（ERA）生产的ERA1101计算机，它之所以这样取名，是因为该项工程是该公司的第13号任务，13在二进制中是1101。此外还有国际商业机器公司的IBM701，IBM702和



这是莱明顿—兰德公司生产的万能计算机，他们正在对美国大选进行预测（1952）

IBM705型计算机；美国国家标准局（NBS）生产的SWAC和SEAC两种计算机。SWAC又称为“国家标准局西方自动计算机”，是由国家标准局的数字分析研究所研制的，该所设在加州大学洛杉矶分校，靠近美国西海岸，故称“西方机”。SEAC又称为“国家标准局东方自动计算机”，是国家标准局设在华盛顿地区的总部研制的，靠近美国东海岸，因而称为“东方机”。SWAC计算机曾用于分析麦森尼数。麦森尼数是指在素数的集合中取P为什么数才能保证2^P-1也是素数。在SWAC诞生时，数学家们已经发现P＝2,3,5,7,9,17,19,31,61,89,和107。1953年6月，数学家上SWAC进行计算，一下子就把P的序列推进到521，进而又找到了607，最后一直找到了2297，这成了当时一条爆炸性新闻。

现在让我们来看看日本计算机的早期发展情况。

美国发明的穿孔带机械式计算机的消息到达日本的时间，大约是1892年。1905年，日本制造出第一台穿孔带计算机。同年，日本通过了人口普查法，但直到1920年才进行首次人口普查。这次人口普查使用了日本电技术实验室设计的穿孔带计算

机，可惜这些计算机在1921年日本大地震时全部毁坏。此后，日本很少生产计算机，而主要依靠输入。截止1941年，日本人口局大约进口了美国穿孔带机械计算机1,000台。

日本第一台继电器计算机是东京大学在1938年设计的，由于第二次世界大战中物资匮乏，这台计算机直到1951年才由日本电气公司生产出来。

美国ENIAC计算机竣工的消息在1946年就传到了日本，美国国际商业机器公司的电子管和继电器计算机SSEC的信息也在1948年传到日本；1951年巴黎召开了首届计算机中心会议，日本派代表列席了会议。这一些系列信息和活动，刺激了日本的电子工业界和计算机学术界，美国在东京建立的“民用信息和教育图书馆总部”吸引着日本的电子计算机设计者们，他们在那里可以获得最新的技术资料和动态。“东京自动计算机公司”（TAC）从1952年开始研制电子计算机，日本第一台电子计算机终于在1959年诞生了。这台计算机的内存贮器是用威廉斯阴极射线管做成的。

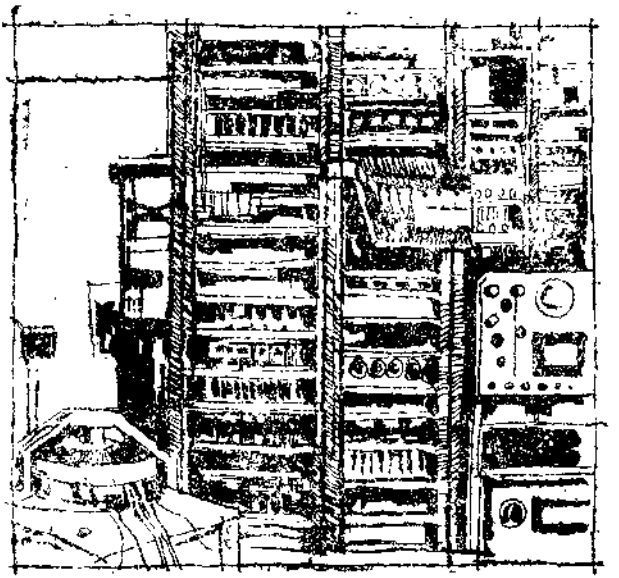
在1960年以前，日本还没有形成电子计算机工业。由于他们在软件和外围设备方面遇到了困难，他们就从1960年起与美国的电子计算机公司签订技

术协定，开始引进美国的设计。他们的计算机工业起飞发生在七十年代中期，那是由于日本已经具备可以与美国相比的微电子工业，再辅以日本政府一贯的保护国内市场的政策，自那以后日本就可以把电子计算机当作一项主要出口产品，长驱直入地打进了美国的大市场。

早在第二次世界大战以前，国际商业机器公司就已雄踞世界计算机工业的首位。五十年代初，“莱明德——兰德公司”也迅速发展起来，形成了国际商业机器公司不可忽视的敌手。与此同时，一些从不生产计算机的公司，如美国无线电公司和通用电气公司，也开始生产计算机。通用电气公司在1955年在亚利桑纳州凤凰城建了计算机部，并为加州美国银行生产大型电子计算机Erma。GE210系列计算机是Erma计算机的商品化产品。美国无线电公司是从第二次世界大战后才开始注意研制电子计算机的，他们发明的选数管（Selectron）和改进的多孔磁芯存贮器为他们在计算工业界获得了信誉，在1952年发明的超大规模计算机系统Bizmac，是世界上第一台可变字长计算机。他们从1958年开始进行计算机的商业生产，其代表产品为6501型计

算机。在五十年代末，美国出现了一些专门生产计算机的新公司，例如“控制数据公司”和“数字设备公司”。控制数据公司成立于1957年7月8日，创始人之一的克雷（S.Cray）早在1956年就因发明晶体管计算机1605（第二代计算机）而发迹。1605计算机内含25,000只晶体三极管和十万只半导体二极管，其磁芯存贮器能存储32,768个48位的字。数字设备公司创立于1957年8月23日，其创始人之一的肯·奥尔森（Ken Olsen）曾在麻省理工学院研制过旋风计算机。1959年，该公司推出程序数据处理器PDP-1，是字长为18位的短字长计算机，比大型计算机具有更广泛的市场，平均售价为12万美元。该公司首先推行降低价格的策略，迫使美国计算机工业进一步朝着商业性和机动性的方向发展，揭开了开拓和争夺计算机市场的第一阶段的商业战。

计算机软件是从第二次世界大战后发展起来的。可以说软件的概念是同存诸程序的概念一同产生的。早在1946年，戈德斯坦和冯·诺伊曼发明了所谓流程图。这就是最早的程序语言。但在1950年以前，计算机操作者除了懂得基本的流程图外，还要熟练而无差错地掌握机器语言。但机器语言与人的生活习惯毕竟不同，机器只能识别0和1两种状态，



英国曼彻斯特大学研究一台最早的晶体管实验计算机。机器使用3点接触型晶体三极管和磁鼓存贮器

存储在计算机中的程序必须由这两种状态的特定组合来调用。这种语言难记、难写、难改。由于这种原因，计算机的应用和推广受到了限制。1952年10月有人提出了一种称为“短码”的代数语言，并最先将这种代数语言用于“UNIAC 计算机”。1953年，国际商业机器公司提出了“快速编码系统”；1956—1957年间他们又创造了Fortran计算机高级语言。这种语言以英语为基础，更接近人的习惯，易于学习、掌握、使用。这是由巴库斯（J.Backus）和吉勒（I.Ziller）发明，它首先被运用于IBM704型计算机上。1959年，美国计算机协会和德国应用数学协会又共同研制了算法语言Algol。1960年，美国海军中尉霍伯（女）（G.Hopper）发明了计算机商业用语言Cobol。

随着计算机高级语言的推广，计算机工业迅速发展起来。计算机用户在五十年代初主要是政府和大学，而到了六十年代初，用户范围就扩大到商业，制造工业，材料工业，教育，医疗，通讯和交通等多个领域。据《电子学》杂志1960年的报告，美国在1959—1960年一年中就新增加了100个大型计算机系统，使大型机总数增至600台，大、中、小型各类计算机总数增至三千台。



美国海军中尉、计算机商用语言COBOL的提出者霍伯女士

大约在1968年，“软件工程”一词出现了，软件工程是指程序方法论、软件开发、编程工具和技术及程序标准的总和。程序语言是软件发展史中最活跃的环节，它们已经发展到这样的地步，任何只学过初等代数和懂得基础英语的人，都能学会和使用。这个领域的成就，无疑比所有计算公司用商业手段来开拓市场具有更深刻的社会效应。

3-4 1947年圣诞节礼物

1936年的一天，一位中年人彬彬有礼地走进了博士研究生肖克莱（W.Schockley）的书房，动员这位快要获得麻省理工学院博士学位的青年毕业后到贝尔电话实验室去从事研究工作。这位中年人就是贝尔研究部主任凯利（M.J.Kelly）。凯利一番动员，使肖克莱想起了实验证明波粒二象性的戴维森（C.J.Davisson）。戴维森从1917年起就在贝尔实验室工作，他象一块磁石吸引着这位青年的心，使他欣然接受了凯利的邀请。

肖克莱来到贝尔电话实验室后被分配到真空管部门。贝尔电话实验室是大有方向、小有自由。肖

克莱在那里选择了自己的课题：晶体的电子衍射。但是他竟想不到会在贝尔的长期目标影响下放弃了这个课题，最后走上了半导体研究的道路。

凯利对他说过，贝尔电话系统终有一日要取消继电器开关元件。电子管的开关速度虽然可取，但其可靠性、坚固性都还不令人满意，因此不是理想的替换元件。肖克莱最先想到了半导体，他想利用李底菲尔（J.Lillienfeld）提出的氧化铜半导体绝缘栅场效应管的原理来设计一种可以放大信号的器件。他的设想得到布拉坦（W. Brattain）的支持。1939年底他们开始研制，未能取得突破性进展。美国在1941年参加第二次世界大战后，他们的工作就暂告一个段落，肖克莱到美国海军部从事反潜艇研究去了。

在第二次世界大战中，电子管暴露出许多弱点，真空二极管简直无法用于雷达的检波电路。古老的须晶复活了。须晶从1874年由布劳恩（F.Braun）发明以来，从未付诸商业生产，业余无线电爱好者大多能够自制须晶。在真空二极管发明（1904）后，它已消声匿迹，在第二次世界大战中再次抛头露面，并发挥了重要作用。在肖克莱看来，这不过是权宜之计，根本改善微波检波电路的困难，还得从固体

元件方面打开缺口。美国组织了麻省理工学院辐射实验室、普尔都大学物理系和贝尔电话实验室等三十多个单位从事半导体检波元件研究，方向集中在锗和硅这两个第四族元素上。普尔都大学物理系侧重于锗，贝尔电话实验室侧重于硅，由麻省理工学院统筹安排。英国和德国研究半导体整流器件早于美国，美国是在英国的基础上起步的。

普尔都大学物理系过去的拿手好戏是X-射线、晶体结构和核物理。从1942年起，在拉克—霍罗维兹（K.Lark-Horovitz）领导下全面转入了半导体锗的研究。他们分成三个小组，一组人员从事锗的电学性质的研究，一组人员从事锗材料的提纯和拉制多晶锗，他们在1942年夏天制出了第一个锗PN结，1943年就制造出反向击穿电压为150伏的锗二极管。第三组人员从事锗整流器件的设计和应用，但从1943年10月以后就停止了这项工作，转向半导体材料的基础研究方面。他们当中有两人已经走到了发明晶体三极管的边缘，他们是拉克—霍罗维兹的研究生本泽（S.Benzen）和布雷（R.Bray）。本泽对锗二极管的反向伏安特性颇有研究，而布雷对锗的正向伏安特性的研究也取得了显著成果。遗憾的是，大战结束后他们都放弃了这些课题，本泽转

向了生物物理学方面，而布雷回到了晶体衍射现象方面去了。

在贝尔电话实验室里最先从事硅的提纯和拉制多晶硅的人，是一批化学家和冶金学家。斯卡夫（J.H.Scaff）和舍勒（H.C.Theurer）在1940年用真空熔炼方法拉制出多晶硅棒，同时发现可用第三、五族元素对本征硅进行掺杂来获取P型硅和N型硅。他们在拉制多晶硅棒的过程中交替掺入微量硼和磷，奥尔（S.Ohl）从这种多晶硅棒上小心翼翼地切下一对PN结。他们所制取的硅PN结要比普尔都大学制取第一个锗PN结早一年。因此可以说，奥尔的切片是人类第一个半导体PN结。他将这个PN结接在检波电路上，用手电筒照射它，结果发现电路的静态伏安特性有很大的变化（电压表指针偏转了半个伏特）。

大战结束了，肖克莱回到贝尔电话实验室，他还带来一位新人——约翰·巴丁（John Bardeen）。巴丁曾在1936年获得普林斯顿大学哲学博士学位，大战中在海军军械局服役。战争结束后他本想到明尼苏达大学从事固体物理学研究，经肖克莱动员而改变了主意，也来到了贝尔电话实验室。这样，肖克莱、布拉坦和巴丁就走到一起来了。

1945年，贝尔电话实验室批准了固体物理学研究课题。贝尔内部档案这样记载了课题内容：

“课题：固体物理学——导体、半导体、电介质、压电和磁性材料的基础研究。

声明：通信装置决定于这些物质的大多数功能性质。在这种情况下从事研究，旨在获得能够用于研制通信系统的完全新的和改进的元件和器件的新知识……”

为完成这项战略任务，贝尔电话实验室成立了“固体物理学分部”，由肖克莱和摩根(S.Morgan)领导，布拉坦和巴丁被分派到半导体小组。

肖克莱和布拉坦又从绝缘栅场效应管着手进行研究。肖克莱认为，绝缘栅场效应管类似于阀门。绝缘栅场效应管的原理是：在半导体（如氧化铜或锗）一个平面上放一块金属板，形成一个电容，若给金属板输入正电位，半导体内的电子就会被吸附在与金属板平行的半导体端面上，以至形成一个“电子海”，这个“电子海”就能沟通电路，正如水笼头被打开那样；“电子海”的密度越高，流过半导体的电流就越强。这样，就可以用小的信号（栅电位）来控制大电流，起到一触即发的效果。这在理论上是可行的，因为德国物理学家肖特基

(W.Schottky)、英国物理学家莫特(N.F.Mott)和苏联物理学家达维多夫(A.S.Davydov)在三十年代末就已经证明：在金属与半导体相互接触的面上会产生一个势垒，如果外加电压使势垒升高，电流就会断开，反之就能导通。肖克莱设想的情况与这个原理大体一样，只不过他将控制信号的方向调到了与电流相垂直的方向。如果实验能够成功，这种器件必定能代替电话交换机中的继电器。然而，肖克莱和布拉坦失败了。巴丁和布拉坦认为，失败的原因很可能是半导体表面具有“捕捉”电子的能力。他们暂时停止了设计半导体阀的工作，集中力量来摸索半导体表面态的性质。

巴丁和布拉坦用一根参考电极和两根金属探针来测量锗半导体表面势的分布，结果发现：当两根探针(相当于晶体三极管的发射极和集电极)离得很近时，若给其中一根探针输入一点正电荷，与另一探针串联的毫安表指示出有较大的电流通过。经巴丁计算，只要两根探针的距离小于一密耳(千分之一英寸)，锗半导体就能起到放大电流的作用。要达到这样小的距离实属非易。

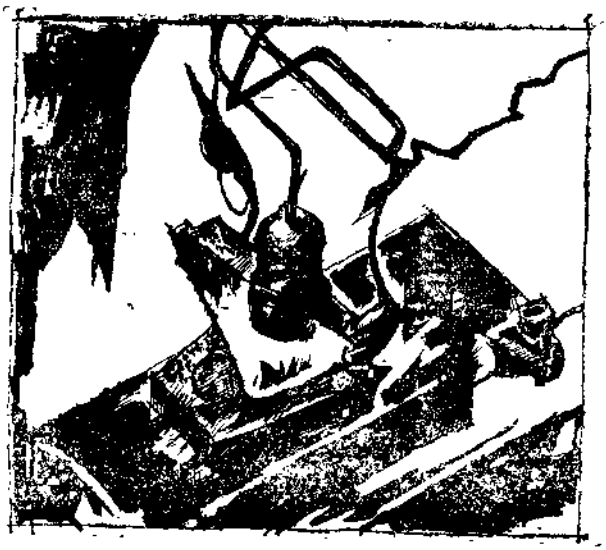
1947年圣诞节快要到了，人们忙着筹备圣诞节礼物，而他们决心将这一发现在圣诞节奉献给人

类。实验步伐加快了，布拉坦的实验技能发挥了关键作用。他在一块三角形聚苯乙烯薄板上，通过气相淀积的方法沉淀一层金属薄膜，再用刮胡刀片从三角形顶部到底部划出一条直线，将金属膜分为两半，各接一根导线就形成了距离小于一密耳的两根探针。他们将三角尖插入一块锗的表面，在锗块的另一边接上参考电极（相当于基极），从而做成了人类第一个半导体三极管。时值1947年圣诞节前两天，即12月23日。

巴丁和布拉坦制成的半导体三极管是点接触型晶体三极管，这种三极管没有PN结，其导电机理是依靠金属与半导体所形成的表面势垒，通过基极的电位来控制面垒的大小，从而决定流过半导体电流的大小。他们将这个三极管用于放大1000赫兹的音频信号，获得40倍功率增益和100倍电流增益。

贝尔电话实验室的皮尔斯（J.R.Pierce）根据半导体三极管既具有电子管的跨导(trans conductance)性质又具有变阻器（varistor）的特性，用前者的"头"和后者的"尾"，合成新词"transistor"，即指"晶体三极管"。

当时不论在美国还是在英国，都有人在研制半导体放大器件，有些人只要再向前迈进一步，也会



在1947年12月23日发明的
第一个半导体三极管

发明晶体三极管的。贝尔电话实验室在发明晶体管后采取了严格保密措施，只许信息流入，而不准消息走漏。1948年3月，英国通用电气公司（GEC）的怀特（D.A.Wright）来访时异乎寻常地感到，技术上一直处于领先的贝尔人十分关注英国半导体技术的进展，而对自己的工作却只字不露。美国《物理学评论》编辑部也感到十分惊讶，在长达半年中居然没有收到一篇贝尔人的论文。贝尔人对普尔都大学物理系那两位研究生更为提防，因为战争结束后肖克莱曾经拜访过本泽和布雷，这两人是知道肖克莱在研究什么课题的。在1948年初举行的美国物理学会的一次会议上，贝尔领导人要求布拉坦只带耳朵去，力避在会议上发言。布雷在会期对布拉坦说："你知道，如果我们在锗的表面放上另一个触点，并测量这点周围的电势，我们就会发现要产生什么现象。"显然，布雷已经触到了问题的实质，布拉坦不禁大吃一惊，接着敷衍说道："布雷先生，我想那也许是个很棒的实验"，说完便走开了。

1948年6月30日，贝尔电话实验室终于公布了他们的发明。即便在这时，美国《时代》杂志也只发表了一条简短的消息，其文字受到严格删节。

1948年2月，贝尔电话实验室为巴丁等人申请晶体三极管专利。美国专利局只批准了巴丁和布拉坦两人的专利，没有批给肖克莱。原因在于肖克莱研究的是半导体场效应管，这项专利在战前已由李麻菲尔等人所申请。肖克莱并没有泄气，他继续开发晶体三极管，在1949年就提出了结型晶体三极管（在1950年发表）。肖克莱结型晶体管是现代晶体管的真正始祖，这种晶体管以PNP结或NPN结为基本结构。这是肖克莱坚韧不拔、不断探索所取得的硕果，当时有人风趣地称这种三极管为“坚持管”。由于这种原因，1956年诺贝尔物理学奖金奖给了巴丁、布拉坦和肖克莱三人，以表彰他们在研制和发明晶体三极管方面所作的开创性努力。

巴丁在后来离开了贝尔电话实验室，他因与库珀（L.N.Cooper）和施里福（J.R.Schrieffer）在低温超导方面的贡献，于1972年再次获得诺贝尔物理学奖金。

布拉坦是三人中最长者。他在1927—1928年间曾在明尼苏达大学听过万·弗莱克（Van Vleck）的量子力学课程，那是在美国最早开设的关于薛定谔波动方程和海森伯矩阵力学的课程，他亲身感受到量子力学对物理学的影响。当戴维森获得诺贝尔



半导体三极管发明者：肖克莱（坐着）、巴丁（左）和布拉坦（右）

奖金后，他曾协助戴维森拍摄过电视和电影。戴维森当时对他打趣地说道："别着急，瓦尔特（布拉坦的名），将有一日你也会弄到一个(诺贝尔奖金)。"虽然是趣谈，布拉坦却永远也忘不了。他知道如何将自己的奋斗与时代紧密联结起来，他选择了与社会需要相一致的目标，在最关键的时候最大限度地发挥出自己的智能。在谈到科学家的社会作用时，他这样说过："我深深感到，科学家没有权利支配他怎样使用他的智慧的。然而，当需要决定社会应当如何运行时，他则象其他公民一样有权进行咨询和发挥作用。"布拉坦道出了科学家的行为准则。当原子科学被用于研制原子弹时，科学家的确无法予以阻止，他们也不能绕恕疯狂发展原子弹的行径；在对于禁止使用原子弹方面，他们却有权站在爱好和平的公民的立场上提出忠告，并予以抵制。在对待电子技术方面，同样应当如此，他们应当利用电子技术来引导生活潮流健康地发展，他们应当防止有人利用电子技术来毁灭人类，应当阻止机器人走上战场来屠杀人类，应当阻止利用电子技术来发展所谓"星球大战"。

3-5 由面包铺里杀出半导体公司

西方电气公司（WE）和贝尔电话实验室是美国电话电报公司的两大部门，西方电气公司主要负责生产由贝尔电话实验室发明的产品。贝尔电话实验室发明的点接触型半导体三极管，曾在好几年中由西方电气公司独家生产。1951年，西方电气公司生产的半导体三极管大批量地投入了市场，他们还首次将半导体三极管用于振荡电路。1952年，他们又生产出晶体管助听器。1953年3月，贝尔电话实验室就将晶体管用于了电话系统的卡片译码器。在晶体管的早期应用中，晶体管助听器是轰动一时的。它只有45立方厘米，全部重量不过90克，150—200美元可买上一个，实为聋人的福音。助听器既然能够小型化、便于携带，收音机也会如此。1954年，得克萨斯仪器公司（TI）就生产出第一批商号为“摄政”的全晶体管收音机，投入市场后被一抢而空。接着，晶体管就用于了电视摄象机，1955年又开始用于了计算机。

由技术产品到商品化产品，是有一个过程的。

但是，技术产品不总是能够过渡为商品化产品的。能否实现这种过渡，首先决定于这种产品能否为大多数厂家所接受。只有厂商愿意接受才能谈得上市场。越是技术性高的产品，就越是依赖第一批接受它们的公司的生产热情和能力。贝尔电话实验室在1948年封锁技术，为的是先让西方电气公司形成晶体管生产的能力。当他们形成足够的生产能力后，贝尔电话实验室就决定公布技术，转让专利，以形成竞争局面，打开晶体管的商品市场。1952年4月，贝尔电话实验室召开了首届半导体三极管学术会议，对国内26个公司和国外9个公司公布了点接触型三极管和结型三极管的工艺技术，并卖给他们专利，批准他们生产。每个公司的与会费为2.5万美元，仅此一笔收入就足够贝尔电话实验室研究半导体技术的人受用多年。从贝尔会议以后，美国生产晶体管的公司与日俱增，1952年还仅仅有八家，第二年就增至15家，1956年就达到26家。由公司增长的情况，可以透视晶体管市场，这方面体现了技术对市场的推动。凡是高技术只要实现商品化，对社会都有推动的力量。

由于五十年代的导弹工程、原子弹及其他国防电子工程对元件小型化的追求，更造成了发展晶体

管的有利局势。美国国防部在1952年在它的“研究和开发局”下设了“半导体器件小组”，负责推行军用电子装备半导体化的工作。他们在同年底将西方电气公司生产的九万只点接触型三极管尽收无余，并与雷通公司、通用电气公司、夕法尼亚公司和美国无线电公司签订了500万美元的合同，合同要求每个公司每月提供五万只晶体三极管和锗二极管。在五十年代中期，国防的购买量就达到了美国全部半导体产量的三分之一，五十年代末又增长到二分之一。

从1952年贝尔电话实验室公布半导体三极管技术以后，美国在很短的时间内就形成了一个强大的新工业——半导体工业。形势蓬勃活跃而又错综复杂。在这个工业中混合着几股相互竞争的力量，每股力量中都能找到美国五角大楼的触角。在美国当时的半导体工业体系中，我们可以用“老公司”和“新公司”两个概念将两种历史截然不同的势力区分开来。这里所说的“老公司”，系指原来在电子管时代发家的公司，在五十年代有八家电子管公司可作为它们的代表，这八家老公司是：雷通公司、通用电气公司、威斯汀威斯电气公司、夕法尼亚公司、美国无线电公司、哥伦比亚广播公司、飞歌公司和滕--索尔公司。这里所说的新公司包括两种情

况，一是在半导体工业时代才建立的公司，它们开始时投资少、规模小，以面包铺或汽车库作厂房，而后迅速发展成为足以与“老公司”抗衡的半导体企业。我们不防将这类公司称为“从面包铺里杀出的半导体公司”。新公司的另一种类型，是一些非电子公司转行到半导体工业而形成的，它们的代表者是得克萨斯仪器公司。

美国五角大楼为推行元件小型化实行了两种政策，一是科研开发投资政策，二是购买政策。这两种政策各有不同的对象，科研开发投资的重点放在老公司，而购买政策主要针对新的半导体公司。现在大多数人认为美国半导体工业之所以最早地发展起来，是因为美国国防军事工程对它的促进。不过，也有一些人持相反的认识，他们认为美国国防部在五十年代对待半导体工业的科研投资政策是失策，因为它主要投资的老电子管公司在半导体工业中均被新公司所击败，它们当中没有一个能在六十年代后还具有竞争半导体市场（包括军用市场）的活力，就连赫赫有名的通用电气公司在六、七十年代之交也被迫停止了集成电路的生产。这一派人的观点是建立在市场分析的基础上的。以1959年为例，西方电气公司和美国八大电子管公司只占有半

导体市场的37%，他们获得五角大楼的科研开发投资占国防部“生产工程议案”（PEMS）总投资的78%；而那些新兴的半导体企业获得的同项投资才占22%，它们占有的半导体市场竟达到了63%。新兴半导体公司之所以能占有更大的半导体市场，主要来自五角大楼的购买能力。象特兰希特隆公司和莫托罗拉公司这样的一些公司就是在军事市场的“拉力”作用下发展起来的。

特兰希特隆公司的发展，反映出五十年代半导体新兴企业的活力。该公司由巴克拉兄弟（David and leo Bakalar）在1952年创立。戴维·巴克拉是位固体物理学家，而利奥·巴克拉是位塑料商人。他们的公司在麻省的一个破旧的面包铺里开张，当时雇员只不过十几人。他们原打算生产晶体管助听器，而这个产品市场早为雷通公司所夺取。故而改变方向，生产国防特需的金丝锗二极管。这种二极管也是贝尔电话实验室发明的，他们获得贝尔领导人批准后立即投入了这种投资少而又能攒大钱的产品的生产，1953年就把这种二极管成批抛售于市场，美国陆军信号军团是他们的主要买者。他们就这样在五十年代中期奇迹般地成为了美国第二大半导体企业，到了五十年代末，成了美国利润最大的

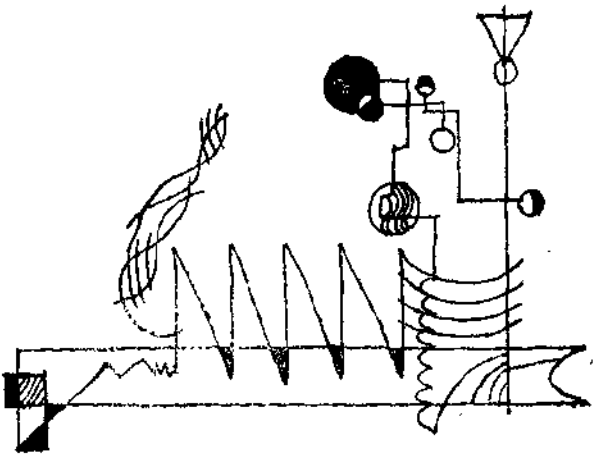
半导体公司。

象其他企业一样，半导体企业不总是通过高技术来获得利润的。那些“老公司”尽管长于电子管技术，它们在政府科研投资下也进入了半导体技术的前沿，并为这个工业不断献出新的技术，但它们所获利润与使用较少的技术发展起来的特兰希特隆相比，就少得可怜了。这个事实告诉我们，利润不能作为技术水平的量度。一位曾创立过特兰希特隆公司的工程师这样生动地说过：“当初加入公司时，我们的确不是出自于纯粹的科学爱好。我们不知道自己居然会从一个老面包铺里获得了人们象对仙童公司、得克萨斯仪器公司那样的尊重，这些公司已经把我们当作他们的一个主要威胁。”

另一个具有代表性的公司是得克萨斯仪器公司。它原是美国地质勘探技术原务部，从1949年开始注意半导体技术。1951年获得贝尔电话实验室的批准，从1952年起着手生产晶体三极管。该公司在1953年改名为得克萨斯仪器公司，并建立起半导体实验室。单晶锗技术首创者梯尔（G.Teal）这时离开了贝尔电话实验室，来到得克萨斯仪器公司领导半导体实验室。这就使得他们较早地生产出结型晶体管，并于1954年将它们投放于市场，一举夺得

结型晶体管市场的优势。同年，他们在IDEA公司协助下研制出世界上最早的晶体管收音机——“摄政”牌收音机。这个奇特的牌号暗示着他们要代替晶体管之父的贝尔电话实验室来行使商业推广之职能。1956年，他们又把贝尔人发明的单晶技术、区域纯化和浮动区域纯化技术全盘运用于硅的提纯和硅单晶拉制，以致大大超过了贝尔人，而成为纯硅的主要供应者。这一发展引起了连锁反响，硅材料走上了历史舞台。得克萨斯仪器公司最后成了集成电路的发明厂家之一。

半导体工业的市场要靠高技术来开拓，高技术的创造者又不总是在这个市场中为自己争得高利润，他们必须从政府和私人的投资中获得动力，而那些善于利用别人技术的人则能坐收这个市场的高额利润。这就是五十年代美国半导体工业所表现出的一条微观经济规律。我们从“面包铺里杀出的半导体公司”可以看到美国政府对半导体产品的购买政策和反托拉斯政策成功的一面。同时，也还不能否定五十年代五角大楼对半导体技术投资的政策。因为没有这方面的投资，半导体技术就难以形成足够的启动力，那么新公司所赖以发家的新技术也就难以从那些“老公司”中产生出来。



第四章

承上启下的时代

4-1 鹰已着陆

六十年代前的电子工业在科学研究的基础上发展技术，六十年代以后的电子工业强调技术开发的作用。六十年代的电子工业成功之处，在于融合了科学和技术的两股力量，它的各个领域均表现了科学和技术并重的特点。激光的发现、固体激光器的发明（1960）、氦氖激光器的发明（1961）、磁泡的发明（1967），等等，都是以基础科学为先导和以电子技术在广度和深度上的开发为效果的六十年代的成就。

六十年代的电子工业出现了如下几种倾向：（1）用固体元件特别是集成电路来改造整个电子技术的结构；（2）电子技术对其他工业的广泛渗

透；（3）电子技术日益渗透于生活领域。

后一种倾向已经不为现在的人们所觉察，因为不少人已经生活在家用电子设备、办公室自动化电子设备之中，在先进的国家还出现了所谓“电子家庭”。六十年代的消费类电子产品相对今日的消费类电子产品已经显得逊色。然而，电子工业真正而又全面地面向生活始于六十年代。一些工业专家所使用的“消费类电子学”一词，也是从那时开始出现的。人们还记得，美国联邦通信委员会在1962年6月1日批准在美国开始立体声无线电广播；还会记得可控硅洗衣机、可控硅干燥机（1963）和微波炉问世时的情况。1966年诞生的盒式磁带录音机和集成电路电视机，以及1969年出现的电子调谐器，都还没有从我们的记忆中消失。

美国和日本推行压价政策，有效地开拓了两亿人口的美国市场和一亿人口的日本市场。消费类市场的开拓，促使各种技术的融合、促使新技术的发展、促使技术向科学挖掘尽可能多的潜力。我们在分析技术的转变时往往忽视了经济的因素，一说到成功就单方面把技术放在首位，一说到失败总不免要批评技术发展缓慢。六十年代的历史证明了这种分析的失败。

与此相反，我们在分析经济形势转变时，却往往忽视了技术的因素，忽视了关键性工程的连锁反应。例如，对西德战后经济复兴，人们作过许多解释，众说纷纭，莫衷一是。战后西德，比我国困难时期还艰苦，饥饿的儿童到联军兵营捡食剩罐头，老人拾捡烟蒂的现象屡见不鲜。然而，这些现象很快就被繁荣景象所取代，一些人认为，西德经济局势的根本扭转与西德兴建高速公路的政策有关。高速公路带动了钢铁、水泥、石化和汽车工业的发展，促进了交通、运输、邮政、信息服务、旅游和以银行为核心的金融事业的发展。全面性的经济建设由此开始，结果又大面积地解决了就业问题。就业率的提高进一步扩大了生产的潜力，一种比几何级数增长率还要高的可再生的生产力产生出来，使西德在较短时间内医治了战争创伤，走上了经济复兴的道路。

电子工业中也存在类似的经济学问题。在它的每个发展阶段上，都有一两项牵动全局的工程。在有线电时代，牵动全局的是电话；在无线电时代，牵动全局的是收音机和电视机；在第二次世界大战时期，牵动全局的是雷达；在五十年代，牵动全局的是半导体技术；在六十年代，牵动全局的是宇航通信工

程、计算机和集成电路。

在这一节里我们着重看看六十年代通信卫星的诞生和发展。

1957年10月4日，苏联成功发射了人类第一颗人造地球卫星，标志着人类探索空间的时代开始了。1958年1月31日，美国第一颗人造卫星——探险家1号也进入了地球轨道。美国已经落后于苏联，他们为夺回优势，在10月1日成立了国家宇航局（NASA），投资3亿美元，决心把人送到外层空间。可是，苏联再度领先，加加宁在1961年4月12日乘人造卫星遨游太空，绕地球三周后平安返回地球。肯尼迪在同年5月25日给国会的报告中指出：必须大力投资空间开发事业，争取在1970年前将人送到月球上去。他未能亲眼看到这一愿望实现，在1963年11月22日巡视得克萨斯州达拉斯市时遇刺身亡。为了纪念他，美国将发射人造卫星的试验场的卡纳维拉尔角改名为“肯尼迪角”。

1968年12月21日，美国卫星阿波罗8号第一次将人送入了月球轨道。1969年7月20日，阿波罗11号机组人员第一次从月球向地球发回具有历史意义的信号：“鹰已着陆”。阿姆斯特朗（N.O.Armstr-

ong）成了最先登上月球的人。历时十一年，耗资235亿美元的阿波罗工程先后将十二个人送上了月球。

1958年是国际地球物理学年，参加这个学年的66个国家的科学家共同制订了今后的地球考察纲领：地震和引力，气象、海洋和冰川，上层大气、太阳、星体和空间。科学家们经过大量观测发现了射频能量的大气吸收和再辐射的机制，找到了影响地面无线电通信的主要噪声源：南、北纬度50度之间的热带上层空间。为了克服噪声，为了打开国际电通信的新的一页，就必须发射通信卫星。

宇航工程带动了无线电技术、集成电路技术、计算机技术、系统论和控制论的全面发展。人造卫星与通信技术的结合，产生了卫星通信。这无疑是六十年代的一项最重要的成就。1960年8月12日，美国成功地发射了第一颗无源通信卫星——“回声1号”（Echo 1）。它实际上是一个飞行在1600公里高空的大气球，它没有无线电装置，只能反射由地球发来的无线电信号。同年10月10日，美国发射了第一颗有源通信卫星——“信使者1B号”，这颗卫星在1000公里的地球轨道上飞行，它载有无线电收发装置，能接收、记录和再发由地球发来的

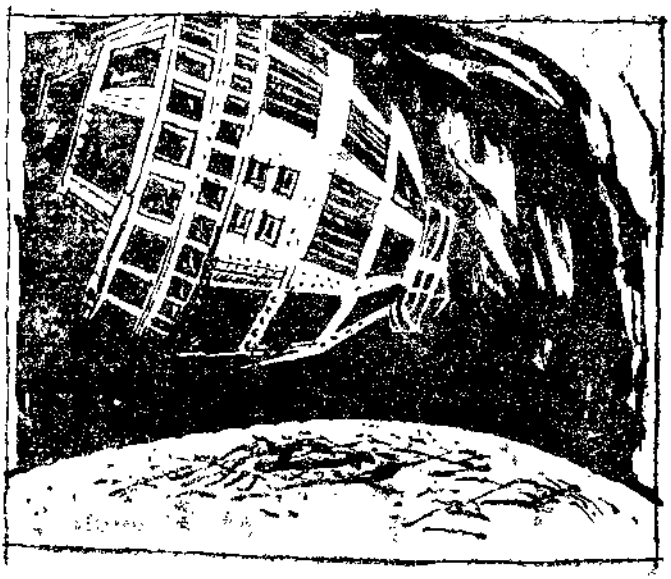


这是1965年发射的国际电信卫星1号，人们称它为“早到者”

无线电信号。1962年，美国发射的“电信星1号”（Telstar 1）和中继卫星1号(Ralay 1)将美国的电视信号第一次送过了大西洋，历史性地打破了大西洋的电视信号屏障。电信星是由贝尔电话实验室设计，由美国电话电报公司发射和操纵的。“中继卫星”是美国无线电公司设计的。它们除转发电视节目外，还能具有600路无线电话通信的容量。

1962年，美国通过了“通信卫星法”，批准成立私营通信卫星公司。翌年，美国“通信卫星公司”成立。1964年，该公司加入了“国际通信卫星组织”。当时参加这个组织有欧、美11个国家，总部设在华盛顿。它主要负责通信卫星设计、制造和维护，并行使通信卫星频道及它们所占空间轨道的划分的职能。1965年4月，国际通信卫星组织由肯尼迪角发射了“国际电信卫星1号”，它的外号是“早到者”。其后又发射了2号、3号，及至1971年发射的4号，组成了第一代国际电信卫星。国际电信卫星4号能传输4,000路电话，工作在6/4千兆赫兹的频率上。

美国在开发通信卫星的同时，也将卫星用于了一些科学研究。1958年发射的“探索者1号”最先被用来观察电离层。其后发射的几颗“探索者”，就



这是贝尔电话实验室为美国电话电报公司设计的，于1962年发射的“电信星1号”，它最先将电视信号送过了大西洋

完全揭示了范阿仑带的情况，发现该电离层处于180英里到47,800英里的上空。1959年发射的“先锋者2号”，是第一颗气象卫星。此后，美国无线电公司设计的“电视红外线观察卫星”均属于气象卫星。1960年4月发射的“电视红外线观察卫星1号”，最先将拍摄的云层照片通过传真送回地面。由威斯汀豪斯公司设计、由美国和英国在1962年联合发射的“S-52”卫星，也是一颗专业科学卫星，它被用来截获来自银河系银核的噪声，用来观测高空臭氧的分布和进入大气圈的微陨石流。1962年3月，美国又发射了第一颗太阳观察站OSO-1；1964年9月，发射地球观察站OGO-1。九个月后，发射了第一颗核动力地球卫星。截至1964年，在地球轨道上飞行的卫星已有400颗，有同步的，也有非同步的。卫星的相互碰撞不是绝无可能，一旦发生相撞，一个飞行物就会分解为许许多多的飞行物，势必造成更严重的问题，碰撞几率就会达到不可忽视的程度。美国在科罗拉多州斯普林斯建立了第一座空间轨道探测和监视的无线电跟踪系统。该系统的跟踪雷达的相阵天线高达15层楼。

六十年代的空间技术主要用于获得宇宙的自然信息和扩大地球上通信范围的两个方面。这是一个

“鹰已着陆”的年代。人类一切科学活动，都是为着满足人类自身不断增长的需要。空间和资源的有限性，给这种需要加上了一个难以越过的界限。现在还没发现在行星空间有第二颗星球是可以供人长期居留的，看来空间的问题比资源的问题更为严重。地球上资源不足，可以到外星球提取。九十年代将有一批机器人送人月球来完成这项使命，关于这个问题，我们将在第六章的“罗伯特制造罗伯特”一节里继续讨论。

4-2 由第二代到第三代

人造卫星是截获自然信息的工具，也是进行全球通信的工具。人造卫星的发展不能离开计算机，六十年代卫星工程是促进计算机沿着多功能和高速度方向发展的一个主要动力。此外，国防工程、科学研究和工业自动化对促进计算机发展也起了十分重要的作用。随着集成电路的诞生，计算机工业的前景更为广阔起来。仅在这十年中，电子计算机就完成了由第二代到第三代的过渡，即是说经历了由分离半导体元件的时代到集成电路时代的飞跃。我们

可以用两个字来勾勒这个时期计算机工业的特点："大"和"小"。大是指大型计算机的发展，小是指小型计算机的出现。

自从数据设备公司（DEC）在1956年制造出第一台晶体管计算机——1605计算机以后，万能自动计算机公司的第二代电子计算机——Larc计算机，和飞歌（Philco）公司制造的第二代电子计算机——Transac计算机也相继问世。六十年代之春又迎来了国际商业机器公司的大型晶体管电子计算机——STRECTH计算机。这台计算机含有15万只晶体三极管，它的速度比IBM704要快75倍。1961年它被运到洛斯阿拉莫斯科学实验室，在那里整整运行了十年。1971年6月21日，在洛斯阿拉莫斯专门为它举行了"退休"仪式。

1963年，国际商业机器公司推出了高档全晶体管7090型计算机。这是在小汤姆斯·沃森（Jr. Thomas Watson）从他父亲手上接过国际商业机器公司后第七年所取得的成就。雄心勃勃的小汤姆斯·沃森决心用最近的半导体技术来推进计算机硬件发展，以使一切计算机变得陈旧。1964年，他们就推出了360系列的混合固体逻辑电路计算机，为向第三代电子计算机过渡准备了尽可能多的条

件。小汤姆斯·沃森在1964年纪念国际商业机器公司成立五十周年的庆祝会上说：360系列计算机，是“公司历史上宣布的最重要的产品”。他们为此投资了5亿美元，远远超过了第一台电子计算机ENIAC的研制费（60万美元）。在360系列计算机投入商品生产的1966年，国际商业机器公司的职员净增了六万人，使公司职工总数达到了十九万人。他们的资本积累也增加到了45亿美元。而第二次世界大战中原子弹研制的曼哈顿工程总共才花了20亿美元！由此看来，国际商业机器公司的规模，投资和资本，都达到了超级的程度。其成就的取得，与该公司采取的长线产品突破战略有关。到了1970年，360系列又被370系列所取代，370系列计算机全都用集成电路，其中145型计算机的主存贮器是用单芯片集成电路做成的。

“虚拟存储”的概念，最早由美国Burroughs公司提出。该公司原是机电制造公司，进入计算机领域的时间不长。随着计算机功能复杂化，主存贮器越来越担负不起所有数据和程序的存储任务，这就得借助于外存贮器将那些暂时不用或用得较少的数据存储起来。在需要调用时，再把它们输入主存贮器。该公司在1963年推出的B5000型计算机就配

备有“虚拟存贮器”。1966年，该公司就宣布制造出第三代电子计算机B2500和B3500。1967年，他们接收了伊利诺斯大学设计的Illiac-4计算机图纸，经过五年努力将它制造出来。Illiac-4计算机是大型科研用计算机，它是一种可用一组指令控制多个数据流的并行处理机，具有64个并行处理单元，主存贮器容量达1兆位，每秒钟可以操作两亿个指令。

计算机时分服务是六十年代初期的产物。美国通用电气公司在1965年正式开放计算机时分服务。翌年，国际商业机器公司用360系列的125型计算机为80个计算机用户提供时分服务。截至1968年，美国已有十二家计算机公司开展了计算机时分服务工作。

在以国际商业机器公司为首的大公司发展大型机的同时，美国的一些计算机新秀发展起小型计算机工业。数字设备公司在1965年生产的程序数据处理机PDP-8，是那个时代的一个代表产品，它的存贮器容量为4,096个字（12位）。他们看准市场，一次性生产，大量抛售，一举大获其利。1969年，他们又生产出字长36位的PDP-10计算机，也是一种用途很广的处理机。1970年，他们再度生产出更新的PDP-11型处理机，这个系列计算机在七十

年代在许多工厂和实验室里能见到，直到现在我国还在进口这个系列中较为先进的机器。

最能引人冥思的太空星体，莫过于超新星。计算机工业中的“超新星”同样引起人们敬畏。美国通用数据公司可谓六十年代美国计算机行业中的“超新星”。它成立于1968年4月，不到半年就推出了“新星”计算机。这种小型计算机突破了传统小型机的框架，它具有四个累加器，存贮器可容32,000个字。二十七个月后，通用数据公司又推出了“超新星”计算机，它的运算速度超过了“新星”计算机15倍。其中超新星SC计算机是最早使用半导体存贮器的小型计算机。

计算机输入和输出设备在六十年代有较大进展。在这以前，计算机上已经出现电传打字机，通常使用的电传打字机是由西方电气公司生产的。进入六十年代后，工程师们开始研究用阴极射线管作终端设备。他们面临两个问题：（1）如何使可视数据信号的宽带与通常的电话线路协调一致；（2）如何实现计算机的数字信息与显象管的偏转线圈和亮度调制的模拟信号的转换。经过国际商业机器公司和飞歌—福特公司的努力，这些问题均得到了解决。从此以后，阴极射线管就成了计算机的一种

基本显示仪器。

计算机的标准程序语言在六十年代有较快的发展。国际商业机器公司在1962年提出了APL语言，在1965年又提出了通用性更强的PL/1语言。我们比较熟悉的“初学者通用符号指令码”，即 Basic 语言，是达特茅茨学院的凯梅尼（J.G.Kemmeny）和克兹（T.E.Kurtz）在1964年提出的。

在六十年代的计算机市场争夺战中，美国一直保持领先地位。英国在1960年有12家计算机公司，可是到了1970年只剩下一家——“国际计算机有限公司”。法国也是这样，只还剩下“比尔机器公司”。与此相反，日本的计算机工业在稳步上升，到六十年代末，它就有七大公司将计算机打入了国际市场。这主要得助于日本政府保护国内市场和重点投资的政策。从1966年起，日本开始了电子计算机五年计划，政府投资三千七百万美元来研制快速计算机。这个五年计划一下子就把日本计算机工业推进到世界第三位，仅次于美国和西德。

4-3 一项同时发明

自从第二次世界大战以后，电子器件小型化问题一直是军事国防工程中的重要课题。下列数据大体表示出早期小型化的进程：1950年，一千个电子管的线路至少要占一立方英尺的空间；到1956年，这样大的空间已经能够容纳一万只半导体管的电路；1958年，安装密度又增加了一个数量级。如果没有集成电路，小型化也许达到了它的最终极限。集成电路打破了这个极限，创造了小型化的新概念——微型化，并把物理学的极限当作了微型化的极限。

美国国防部为电子器件小型化付出过高额代价。1950年，美国海军通过国家标准局在1950年提出了所谓“拼装技术”工程，旨在利用丝网印刷技术将无源的小型元件制造在22平方毫米的陶瓷片上，再与微型电子管拼装成尽可能小的电路。该项工程耗资五百万美元，最后因晶体三极管的大量上市而显得逊色，被迫于1953年9月宣告结束。1957年，美国陆军信号军团宣布的“微模组件工程”遭到了同样的命运，宣告它失败的是集成电路。这些工程

虽然都失败了，但人们追求小型化的奋斗精神丝毫没有衰减，他们在不断地寻觅新的起点。“微电子学”一词就是在那时引进的。

美国空军在1959年又提出了“分子电子学”工程，旨在探索用分子或原子的结构来制造各种微型电路。这项工程显然超越了时代的技术环境。集成电路发明者之一的基尔比(Jack kilby)批评过这项工程的制定者，他说：“空军抛弃了与现存电路有任何联系的任何东西……他们不希望由电路到电路一步一步地走到目的地。”

最早提出集成电路概念的，是英国皇家雷达公司的工程师杜麦(G.W.A.Dummer)。1952年5月，他在华盛顿举行的国际电子元件学术会议上宣读论文时谈到：

“随着晶体管和半导体工艺整体地降临，现在看来有可能预期在一个固体块上的无连线的电子设备即将出现。固体块可能由绝缘、导电、整流和放大的物质层次构成，电学功能直接由从不同层次挖除的面积来沟通。”

英国政府反响迟缓，直至1957年才让皇家雷达公司与普莱赛公司签订合同来实施杜麦的集成电路方案。同年9月，杜麦在皇家雷达公司举行的国际

元件会议上展出了用金属做成的集成电路的模型。他指出可用硅晶体制成双稳态电路。然而，英国人没有取得实质性进展，集成电路终究还是在美国发明出来，英国没有任何人能分享这项成果。

最先发明集成电路的人是得克萨斯仪器公司的基尔比和仙童公司的诺伊斯（Robert Noyce）。

基尔比出生于堪萨斯州，父亲是一个电厂的经理。他从小酷爱无线电，立志上麻省理工学院，可是他在1941年入学考试时因三分之差落第，不得已只好去读伊利诺斯大学。1947年，他进入“中心实验室公司”，在那里从事丝网印刷工艺研究，以配合国防部的小型化计划。1952年，他有幸参加了贝尔电话实验室召开的晶体管制造工艺学术会议，回来后便从事晶体管助听器电路研究，为公司设计出第一个晶体管化助听器。不久后得克萨斯仪器公司已经研究出硅三级管，并开始向市场成批抛售单晶硅材料。中心实验室公司无力应变，就连一台拉制单晶的炉也无法购买。鉴于这种情况，基尔比离开了它，在1958年5月来到得克萨斯仪器公司。得克萨斯仪器公司接受了军方的“微模组件”工程任务，基尔比分配的任务是研究中频电路的微模组件。他认为，与其将精力用于将各个独立的元件安

在一个很小的空间，还不如将这些元件全都做在一块固体板上，再配以适当的连接，就能形成尺寸更小的电路。

是年7月，得克萨斯仪器公司全体职员都休假去了，基尔比是新到者还没有权利享受休假，他就独自留下继续从事研究工作。空空荡荡的厂房里只剩他一人，他利用假期尽情地动用车间里的设备，反复试验，寻找元件微型化的突破口，终于想出这样的方案：用低掺杂半导体材料做电阻，用PN结做电容，再配上台面晶体三极管，在一块半导体上做出多谐放大器。1958年7月24日，他在日记中记下了这种设想，“此方案强调采用两次扩散工艺形成台面晶体三极管，并用“蒸发（淀积）导电物质把晶体管的发射极和基极与（多谐振荡）电路连接起来，或许可用热焊合方法来连上细导线。”

但是，两次扩散工艺还不是得克萨斯公司所能掌握的技术，而是仙童公司的拿手好戏。当时他们还没有一块现存的经过两次杂质扩散的硅片。基尔比只好用锗材料进行实验。他后来在拉特罗普（W. Lathrop）协助下，用扩散法在一块锗片上形成了电阻和晶体管，面将原来方案中拟定用PN结做电容的方法改为在半导体氧化层上蒸发淀积金属的方

法，终于做出了第一块集成电路。1959年2月6日，他向美国专利局申请专利（美国专利第 3,138,743 号）。在专利说明书上叙述了“热焊合”金属连线的方法，这就表明他不是采用蒸发淀积金属来实现互连，而是引入固体外的导线进行互连的。他的专利直到1964年6月23日才批准下来。

扩散技术、外延技术、氧化、光刻蚀和金属蒸发淀积技术，以及半导体平面技术，是通向集成电路技术的捷径。仙童公司最先创造了这一整套技术，他们理所当然比得克萨斯仪器公司更具备发明集成电路的条件。在基尔比从事集成电路研制的同时，仙童公司研究开发部主任诺伊斯也构思出了制造集成电路的方案，并在1959年1月23日的日记中详细地记录了下来。

诺伊斯出生于依阿华州。他在格林尼尔大学攻读物理学时受教于伽尔（G.O.Gale）教授。伽尔是巴丁的大学同窗。巴丁发明晶体三极管后给他赠送了一只样品。伽尔教授在课堂上出示了这个晶体三极管，引起诺伊斯极大兴趣。诺伊斯毕业后到麻省理工学院攻读电子物理学博士学位。他在1953年获得博士学位后就到飞歌公司任职，三年后又慕名前往加州帕洛·阿尔多（Palo Alto）肖克莱晶体

管厂，18个月后羽毛丰满，又背离肖克莱而去，在1957年办起了“仙童公司”（Fairchild）。在他手下有平面技术集大成者霍尼尼。他们之所以自成体系，在于他们发明了突破全局的硅材料光刻蚀工艺，这使他们的平面处理技术达到了无与伦比的高度。诺伊斯综合硅材料的表面钝化工艺和光刻工艺，提出了更近于现代集成电路的设计。诺伊斯主张用金属蒸汽淀积的方法来互连固体元件，这比基尔比的“热焊合”金属细丝的互连方法具有更广阔的前景。

当诺伊斯获悉基尔比发明集成电路的消息后，他不禁感到惊讶，于是立即召集“仙童”们讨论决策。紧张的试制工作开始了。1959年7月30日，他向美国专利局申请了“半导体器件—连线结构”专利（美国专利第2,981,877号）。该专利在1961年4月25日得到批准，抢在了基尔比之前。

得克萨斯仪器公司认为仙童公司侵犯了他们的专利，在1962年向“美国海关和专利上诉法院”控告诺伊斯。但因诺伊斯的互连技术不同于基尔比的互连技术，根本不存在侵犯专利的问题，法院最后在1969年判决诺伊斯专利有效。这样，不论在技术上还是在法律上，都承认集成电路是一项同时发

明。事实表明，如果基尔比和诺伊斯晚一些发明集成电路的话，他们就永远不会享受集成电路发明者的荣誉，其他人会马上发明集成电路，正如诺伊斯所说："这是一个瓜熟蒂落的问题，技术已经发展到了水到渠成的地步。"

1966年，基尔比和诺伊斯同时荣获富兰克林学会巴兰丁奖章，表彰他们"为发展集成电路作出了重大而又基本的贡献"。基尔比被誉为"在1958年设想和制造出第一块单片工作电路"的人，而诺伊斯被誉为提出"更专业化、特别适用于工业的单片电路理论"的人。

诺伊斯和基尔比的成功，在于他们合理选择了突破小型化难关的道路。他们都未脱离实际而想入非非地要跨越世纪，而是利用了技术上瓜熟蒂落和水到渠成之势。他们之得正是美国空军"分子工程"制订者之"失"。诺伊斯在批评"分子工程"时说道："电子工业的实际力量，总是从如此简单的元件中综合一些什么东西所取得的，而不是试图发明什么复杂的元件。进步的关键在于你是否能设计出你需要建造的电路的元件，然后将它们结合起来。"

在技术史上，综合的方法即是发明的方法。虽然

不是所有发明都来自于技术的综合，但综合法所产生的发明构成了技术发明的大部分。材料学的革命，可能不受综合方法的影响，它们往往在科学领域最先发起，晶体管的发明就是其中一例。科学领域虽然不断出现重大突破，但不是所有突破都能立即引起技术的变革。相对而言，技术成果具有更强的可借鉴性，对工艺或技术的合理综合，总能带来一些显而易见的效果。集成电路产生的情况说明了这种现象，微处理机的诞生更能够说明技术综合的意义。

4-4 莫尔预言

集成电路诞生后不过一年半，集成电路就投入了半导体市场。1961年，仙童公司和得克萨斯仪器公司都制造出电阻耦合的逻辑集成电路RTL。接着，仙童公司在1961年制造出半导体二极管耦合的逻辑集成电路DTL。1963年，夕法尼亚大学发明了晶体管耦合的逻辑集成电路TTL；同年，莫托罗拉公司制造出发射极耦合的ECL逻辑集成电路。截至六十年代中期，双极集成电路的工艺臻至成熟，型号规格已经初步定型。单极集成电路——即以场效应

三极管为元件的金属—氧化物—半导体集成电路（MOS）也在发展之中。早在1962年，美国无线电公司的霍夫斯坦（S.Hofstein）和海曼（F.P.Heiman）研究出以空穴为载流子的P沟MOS集成电路。他们在2,500平方密耳的硅片上做出一个含有16个场效应管的通用逻辑电路。

相对而言，单极集成电路的发展比双极集成电路要慢一些。所谓双极集成电路，是指以PNP型或NPN型三极管为基本元件的电路，这种电路中同时有电子和空穴的运动，所以称为"双极"集成电路。双极集成电路的速度较快，但能耗较大。而单极集成电路要么只有电子导电，要么只有空穴导电，所以属于"单极"型电路。单极集成电路能耗较低，但反应速度比双极型要慢。这些显著区别，势必引起集成电路制造者作出决策，决定他们的产品内容。在六十年代中期，关于选择什么样的集成电路为公司的主要产品，是半导体制造商感到最棘手的问题。美国无线电公司曾在1963年大量生产过单极集成电路，仙童公司也是这样，但他们很快就放弃了这类产品。原因在于，美国军方要求高速集成电路，只有双极集成电路才能达到要求。

当时工程师们也已经看到了单极集成电路的前

景：能耗低、可达更高的集成度、制造工艺简单，等等。最先开拓单极集成电路市场的是美国两个小公司，一个是1963年成立的通用微电子公司，它是由从仙童公司分划出来的诺曼（R.H.Norman）等三人创立的。另一个小公司是通用仪器公司（GI）。单极集成电路直到六十年代末才得到了真正发展。那是威斯汀豪斯公司和美国无线电公司研制出互补金属—氧化物—半导体(CMOS)集成电路(1968)以后的事情。1969年，美国的单极集成电路产值为三千五百万美元，一年后就增长到一亿美元。单极集成电路的发展为七十年代初的电子表、计算器、半导体存贮器和微处理器的发展奠定了实质性的基础。

在五十年代，人们很难作出长期预见。因为结型晶体管、合金结晶体管、面垒晶体管和平面晶体管，几乎是一个接一个地产生出来。当某项产品出来后，人们还来不及预见它的未来时，另一种更新的产品就出现了。飞歌公司在五十年代中耗资数千万美元建了一条生产军工产品MADT晶体管的自动线，这条自动线一举将飞歌推到了美国半导体工业的第三位；可是曾几何时，飞歌公司就为它所困扰，出现了尾大不掉的局面，因为集成电路诞生了。

与分离元件相比，对集成电路的发展较能做出长期预言。仙童公司的莫尔（Gordon Moore）在1964年预言，集成电路上的晶体管数目将逐年翻番。他认为在今后的15年中将保持这种几何增长率。应当说明，莫尔预言是针对MOS集成电路才长期有效，因为这种集成电路比双极集成电路可以达到更高的集成度。试以1962年霍夫斯坦发明MOS集成电路为起点，当时的集成度为16（即含16个场效应管）；到了1971年，MOS集成电路便能达到6千个场效应管的水平。莫尔预言可以表示为“底为2、幂为自然数”的指数形式。根据莫尔预言，1971年集成电路的集成度应为 $16\times2^9=8,192$。实际情况与理论预言相差不远。由于这种原因，人们就把莫尔预言称为莫尔定律。

1978年是使莫尔定律的有效性受到破坏的一年，这一年产生出64K动态存贮器，每个硅片上能够制造出135,000个元件。从此集成电路的集成度增长率有所减慢，但仍然按几何级数的规律增长，只不过每两年翻一番而已。

使莫尔定律在较长的时间内保持有效的原因，是物理尺寸允许集成度继续翻番。换句话来说，已有的物理知识证明集成电路的微观尺寸可以用物理

学的微观尺寸做它的极限。只要工艺能够保证集成电路的线宽不断下降，集成度总是可以不断提高的。拿1971年的情况来说，当时的线宽为15微米，一般的可见光的光刻工艺仍然发挥好几年作用。到了1982年，线宽已经下降到可见光光波长的数量级，可见光的光刻工艺不再适用，X-射线刻蚀工艺和电子束直接刻蚀工艺开始发挥作用。工艺的发展推进着集成电路向高集成度方向发展，反过来也可以说，由于人类追求更高的集成度，迫使人们不断地探索高级的微细加工技术。当然，任何材料都有不同的层次，每种层次又有一个最小的尺寸极限。在硅材料上制造集成电路也将有一最终极限。如要使集成度超越这种物理极限，只有用新的材料来代替硅材料。现在已有人用遗传工程学的方法研究分子集成电路。这种分子电路自然与美国空军早期提出的分子电路工程不同。它将来会成为名副其实的“分子电路”。

4-5 美国挑战

在集成电路诞生以前，美国大概总共生产了五

亿只半导体三极管。集成电路出现后，把这个不能再提高的极限突破了，使半导体元件数目一下子就提高了几个数量级。以1971年美国生产的集成电路为例，他们的全部集成电路上的当量晶体三极管数目达到了406亿只。如果没有集成电路，再积累二十年也达不到这个惊人的数目。

六十年代的宇航工程、导弹工程、计算机工业、通信工程和工业自动化，都对半导体元件提出了两个要求，一是小型化，二是巨量化。关于小型化的问题我们业已在4.3节中叙述过。现在让我们看看各项工程对主体的巨量要求的情况。

在1957年，生产一台电视机充其量用一千只分离元件即可。1959年国际商业机器公司生产的1620型计算机就得用5万只分离元件，1962年发射的国际电信卫星也用了1万只分离元件。1965年生产的6600型计算机，竟用了35万只晶体三极管，1万只半导体二极管和50万只电阻器。贝尔电话实验室在同年生产的 ESS-1型计算机所使用的元件数比6600型计算机几乎多了一个数量级，分离元件数目达到了 400万只，这简直是个天文数字！试想一下，从1947年到1959年之间生产的全部晶体管，能够安装几台ESS-1 计算机？幸好集成电路已经诞生，满足了各项

工程所需；否则，电子工业定无今日面目。

美国集成电路工业从两个方面获得动力，一是技术推力，二是市场拉力。这一推一拉，正如功率放大器中推挽放大电路那样，推动着美国六十年代的集成电路工业。

技术推力从五十年代末已经形成。半导体集成电路工艺无外乎由平面技术和薄膜技术构成，再加上外延技术，在六十年代初已经渐臻完备。线性集成电路，双极逻辑集成电路和单极逻辑集成电路（MOS和CMOS）相继出现。它们先后用于助听器、电话交换机、收音机、电视机、计算机、电子手表、计算器、半导体存贮器，最后又导致了微处理器的诞生。这一发展时序反映了市场（工业市场和消费市场）对集成电子学工业存在着有增无已的吸引力。

美国集成电路工业在六十年代经历了两种不同的市场阶段，第一阶段是以军事购买为主的官方市场阶段，第二阶段是民用消费类市场阶段。

在六十年代中期以前，美国的三项工程——“民兵”导弹系统、阿波罗导航计算机和W2F飞机数据处理器，对美国集成电路工业产生了很大的推动力。政府对技术的投资政策和对产品的购买

政策，都有利于扩大集成电路的生产，并对高速集成电路提出了较高的技术要求。在这一阶段中，政府和工业的购买占集成电路市场的70%。与此相比，西欧显得逊色，它们相应的指数只有20～30%。西德和日本的军事购买力几乎等于零。

在这一阶段，美国集成电路工业对消费市场是不感兴趣的。这就给日本的消费类产品打开了大门。当时，日本的分离元件收音机、黑白电视机、录音机已经充斥美国市场（值得注意的是，日本在1955年首次向美国输入黑白电视机，而彩色电视机直到1966年才开始出口）。如果说在这一阶段美国的半导体工业仍有出口的话，那是因为价格差的缘故，而不是因为美国已经看中了国外市场。例如，得克萨斯仪器公司在1961年生产的半导体三极管，在美国的平均价格是14美元，而运到英国后几乎翻了一番，升至24美元。实际上，直到1965年，日本、英国、西德和法国加在一起，他们的半导体市场总共才是美国的30%。

有人在1962年作过这样的预测：1970年美国军方将购买全部销售的电子产品的57%，集成电路的50%。但历史表明，军方只购买了电子产品的40%、集成电路的三分之一。预测者未能估计到美

国国防对电子工业特别是集成电路工艺的依赖有急速下降的趋势，也未能估计到半导体消费品市场有迅速扩大之势。就拿日本、英国、西德和法国四国来说，他们的半导体消费品市场已从1965年占美国的30％上升到1970年的54％，1972年再度上升到75％。第二世界国家对半导体消费的人均水平在追赶美国，有达到均化的趋势。鉴于形势的转变，美国集成电路工业就转入了六十年代的第二个阶段，并采取相应的策略——夺取世界半导体消费品的市场。

美国的集成电路的国际市场分为技术市场和产品市场两大类。打开国际技术市场的主要途径是出让专利、收回专利权税。得克萨斯仪器公司和仙童公司将他们的半数专利批让给外国公司，西方电气公司和贝尔电话实验室在1974年将他们的179项专利中的65项批准给外国工厂。日本为了购买美国专利，竟将销售的10％作为专利权税给了美国各大公司。价值约为二千五百万美元。仙童公司在1971年获得专利权税九百万美元。从经济的角度来看，靠专利权税来抵销国内市场的逆转是消极的，而且是根本行不通的。但从技术推广的方面来看，这样做却是积极的，具有长期效应的；因为只有促进技术

的平衡发展，才能使高技术的产品的消费得到普及，这样做才能有效地打开国际市场。再说，任何高技术都只能有一段有限的保密期，随着技术和工艺的进化，原来的一些技术不出让也会变得无效。

美国为夺取国际半导体产品市场，具体采用了三种途径：（1）直接输出成品；（2）输出元件在国外装配、就地销售；（3）在海外设厂进行产销。这在运输上是没有困难的，对于（2）、（3）情况更是如此。从六十年代末开始，美国逐渐加大了后两种输出的比重。以1969年为例。英国、法国、西德和日本的半导体消费总额为六亿六千万美元，美国的产品就占76%。在这76%的比例中，美国靠直接输出的产品值占37%，而在上述三国（日本不允许美国在日本设厂）装配的产品价值占24%，在这三国产销的占15%。到了1972年，这四国的半导体消费总值升达12.84亿美元，美国产品在那里的销售额占了70%，而直接输出的产品的销售已经下降到18%，第二类输出上升为34%，第三类输出上升到18%。

美国之所以采取在国外设厂的策略，是因为在那里可以获得廉价劳动力，其次还有关税壁垒的原

因。在美国的一个半导体装配工人的价格，是爱尔兰和拉丁美洲的四倍，是远东的十倍。由于这种原因，美国有80%的半导体公司设有海外工厂。1972年，美国半导体公司在国外附属工厂的工人数（89,000人）已经超过了在国内的职工人数（85,000人）。截至七十年代初，美国对海外半导体工厂的投资的积累数达到四亿五千万美元。数字看来不小，但和他们所获利润相比就微不足道了。美国仅在1972年在英、法和西德装配和生产的半导体的销售，一举就获净利六亿美元。

美国在亚洲设立的半导体工厂最多。以1974年为计，它在马来西亚、新加坡、香港、南朝鲜就建立了45个工厂；其次是拉丁美洲，在那里设立了24个工厂，其中墨西哥就有17个；第三位是西欧，在那里设立了21个，英国有7个。

美国集成电路工业就是采取这些策略来取得国际市场优势的。由于它的先进技术、由于国外的廉价力，使得美国总能最先采取压价政策。美国先行压价，逼得西方各国也来压价。如不压价就没有竞争力，如要压价必然蚀本。这就造成了西欧各国的困境。他们要就退出半导体市场，要就付出高额代价从美国的附属工厂买入技术，或者采取强硬的抵

制政策。总之，不论西欧还是日本，都得响应美国的挑战。

4-6 西欧困境

在集成电路诞生的同时，西欧纵横交错的经济地理就被两个相互渗透的经济空间组合起来了。这两个超地理条件的空间是欧洲经济共同体（EEC）和欧洲自由贸易区（EFTA）。欧洲经济共同体（又称共同市场）在1958年由欧洲煤炭和钢铁共同体（ECSC）的成员创立，包括西德、荷兰、比利时、法国、意大利和卢森堡，当时的人口为175,250,000人。欧洲自由贸易区创立于1960年，旨在通过递减贸易限制来增进经济发展和扩大贸易交往，其成员有英国、奥地利、丹麦、挪威、葡萄牙、瑞典、瑞士和芬兰，当时的人口为96,315,000人。这两个组织14个国家的总人口合为271,565,000人，而美国当时人口仅为一亿九千万人。由此可见，西欧应当是一个比美国要大的市场，如果他们的“技术迟滞”接近于美国的水平，如果他们存在象美国那样的强大军事市场，或者他们采用了如同

美国或日本的经济政策的话，他们的半导体工艺和集成电路技术是不会落后于美国的。

之所以说西欧是一个比美国更大的市场，除了人口比例外，还有如下原因：

（一）西欧一些主要国家的生产力与美国相比，相差还不十分悬殊。这可以从年发电量的数字反映出来。以1961年的情况来看，美国全年发电量为8,780亿千瓦小时，英国和西德分别为1,280亿千瓦小时和1,220亿千瓦小时。人均用电度数，美国4,621度，英国和德国都约为2,400度左右。

（二）从主要消耗电子产品（如收音机和电视机）来看，西欧各国都还未达到消耗的饱和度。以收音机为例，美国在1960年每一千人拥有932台，已经接近饱和；而英国是每千人288台，西德是每千人306台。电视机的情况也是这样，美国在1961年每千人拥有电视机306台，而英国每千人212台，西德每千人89台，法国每千人43台。法国当时还远不及我国目前的情况。

（三）西欧半导体和集成电路消费市场具有潜在性。这种情况由西欧各国的电子类产品销售的年增长率可以看出。在当时，除英国外，其他各国的年增长率都高于美国。以1959～1960年为例，在美

国市场的销售额年增长率为8%，而西德为18%，法国为27%，荷兰为40%，意大利为87%。

与美国相比，西欧的不利之处还很多，这种不利的因素正是造成他们在六十年代初期在集成电路工业方面落后于美国的原因；其影响如此之大，以致在六十年代末采取一些重大措施后也还有积重难返的后遗症。这些因素是：

（一）西欧缺乏美国那种强有力的军事电子工程的激励，对于西德来说，这种激励根本等于零。西欧各国均得从电子产品利益中提出研制费用，政府只能调拨给少量的费用。

（二）系统选择造成的错误。这里所说的系统选择，是指产品系统和技术途径的选择。拿英国的情况来说。当美国半导体工业选择优先发展半导体集成电路以后，英国还把微膜组件电路和半导体集成电路放在同等重要的地位，以致当时一些人也把微膜组件电路当作了集成电路。英国航空部组织了集成电路“联合王国工作团”，在1960年作出如下决议：以微膜技术为基础的“集成电路”是英国的近期计划，而半导体集成电路是长期规划。应当指出，他们的微膜组件是指用蒸汽淀积方法在瓷介质或其他衬底材料上淀积金属或半导体氧化物形成的

无源元件，毫无疑问，这些分离无源元件还得与半导体三极管组合起来才能形成他们所说的“薄膜集成电路”。按照集成电路的定义，他们的电路就不是集成电路。我们现在给集成电路下的定义是：用各种方法在一块固体上形成各个具有电学联系但在机械上又互不分割的、能完成设计规定的电学功能的电路。为了完成他们的近期规划以尽快将“薄膜集成电路”用于数字计算机，英国航天部负责无源元件的合同的签订，而海军部负责有源元件的合同的签订。因此可以说，无论在集成电路系统的选择方面，还是在管理系统安排方面，英国人都犯了绝大的错误。我们知道，在计算机设计方面，需要有硬件工程师、软件工程师，还需要有系统工程师。而在集成电路生产的管理方面，则根本没有必要区别谁来负责有源元件和谁来负责无源元件。

（三）西欧还没有如同美国那样的反托拉斯法。托拉斯即垄断。美国的反托拉斯法使美国的电子工业，特别是半导体工业系统在二次世界大战后具有足够的机动性和生命力。事实上，美国的半导体公司都是一些新兴的公司，它们在反托拉斯法保持下突破了老电子管公司所到达的极限。有了反托拉斯法，美国的专利制度就不再起保护发明者的个

人利益的作用，反而促进了信息流通，刺激了发明的再发明。贝尔电话实验室在1952年公布它的晶体三极管的专利，很能说明这个问题。贝尔电话实验室如不及时公布它的发明，一则它不能充分利用信息来促进文明，从而也不能为自身获得只有文明才能享受的高级产品的市场；二则它会受到美国学术界和工业界的群起而攻之，将被视为技术垄断的“君主”，而这种“君主”在五十年代于美国实不存在。

由于西欧缺少必需的反托拉斯措施，使得半导体工业在进入集成电路时代后仍为少数老牌、名牌公司所垄断，严重阻碍了电子工业的发展。象法国这样一个具有四千七百八十万人口的国家，其电子工业劳动力达十二万人，已是一个不小的数字，可是它的半导体工业的60％集中于四家大公司：法国无线电报总公司（CSF）、法国汤姆孙—休斯顿公司（CFTH）、法国通用电气公司（CGE）和无线电技术公司（La Radiotechnique）。德国的半导体工业也是集中于四家老公司：西门子公司、德律风根公司、标准电气洛伦茨公司和瓦尔沃公司。这些公司均属原来的电气公司，它们涉及范围之广，以至失去了半导体制造的专业特色。其中西门子公

司拥有雇员24万人，其公司分布于79个国家。这在美国还是找不到的。美国在三十年代最大的电子公司是通用电气公司，其雇员只不过八万九千人而已。

英国的情况也是如此，它的最大的半导体制造业要算费朗蒂有限公司、马可尼公司、普莱赛公司和皇家雷达公司。英国半导体公司大多数集中于伦敦附近和东南沿海，那里的劳动力价格高，也是限制英国集成电路工业发展的一个不利因素。以致英国后来在七十年代末也开始学习美国“硅谷”，在苏格兰寻找新址，发展英国的“硅谷”。

（四）西欧对技术人才限制得过死，一般说来，不象美国那样鼓励人才流动，英国特别如此。这个问题拟在4.8节继续讨论。

西欧迟至1964年才收到集成电路应用的效果。1964年马可尼公司利用费朗蒂生产的半导体集成电路制造出多芯片台式电子计算机。这台计算机于同年5月在伦敦举行的“仪器、电子学和自动化展览会”上展出。这项成就可以说是除美国外所取得的第一项集成电路应用的成就。该计算机具有24位的4096字的存贮器，存取时间为0.4微秒。

经过这些分析，就不难理解为什么英国人最先

提出半导体集成电路的模型却不能最先制造出集成电路。英国皇家雷达公司在1957年已与普莱赛公司签定研制杜麦双稳态集成电路，但由于政府和公司领导人缺乏远见，直到美国人宣布发明集成电路后，才在1960年由普莱赛公司和皇家雷达公司物理实验室组织起一个攻关小组。以致使半导体集成电路的“技术迟滞”长到惊人的程度。杜麦本人因此一气之下离开了皇家雷达公司，“告老还乡”，去从事电子工业发展史研究去了。

西欧对集成电路的需要，在六十年代初就形成了一个潜在的市场，但由于沿袭了一套陈旧的经济政策和技术管理体系，使得这种潜在市场久久不能开拓出来。西欧缺乏的不是技术的推力，而是市场的拉力。包括杜麦在内，许多集成电路专家在当时不相信可以大力开发消费产品市场来弥补军事国防工程压力的不足。这一点是西欧企业家们之所失，而是日本企业家之所得。杜麦在1964年为《电气和电子工程师学会学报》写的一篇文章说过这样一段话，可以代表西欧企业家们在当时的一般见解。杜麦说：

“在大多数欧洲国家中，主要的困难仍然是集成电子器件市场。它们不象美国，军事市场相对地

小，而消费集成电子器件还没有廉价到足以与通常元件竞争的地步。说真的，技术是十分了解的，一旦存在一个已经建立的市场，就不会有困难进行大批量生产。应用主要是对有限的军事领域、计算机领域，以及一些工业应用。现制造出了许多装备原型是用于鉴定。估计大规模生产（集成电路）将后两年至五年内发生。”

任何还未产生的市场都有潜在性，它可以迅速形成，也可能姗姗来迟，这要依靠技术对它的开拓，而这种开拓又决定于政府政策。西欧之所失，失就失在它们还没有充分运用这条原理。

4-7 日本应战

日本电子工业的情况不同于美国和西欧。日本在半导体集成电路方面的“技术迟滞”比西欧的还要长，当美国在1964年研制出集成电路台式计算机时，日本才开始研究集成电路不到两年，还拿不出象样的集成块来。然而，日本没有陷于窘困，他们在奋发自强、努力崛起。

让我们先来回顾一下日本电子工业的发展简

史，也许有助于了解日本是怎样从一种相对落后的状态一跃成为国际上一个举足轻重的电子技术强国的。

日本的无线电电报技术研究开始于1900年，照理说不算太晚。从1909年起，日本有个别公司开始研制真空电子管，但迟至1917年才生产出第一批电子管。1925年，日本广播协会（NHK）的前身东京广播电台进行了首次无线电广播的试播；四年后，日本电气公司（NEC）进行了短波无线电通信，将信号送到了德国。电视技术的研究也是在那时开始的。1939年，日本广播协会在东京进行了首次黑白电视试播，但由于第二次世界大战的影响，这项工作停顿了起来。战后日本被禁止研究原子弹、战略武器、微波电子装备，这些限制影响了日本计算机技术的发展。直到1951年，日本才重开无线电广播，1953年才正式开放黑白电视广播。1954年，日本电报和电话公司在东京及其附近一些重镇建立起微波中继网。1955年，日本的电子工业产值才613亿日元，合1.7亿美元，其中消费类电子产品产值占全部输出电子产品价值的44%。日本人开始尝到了甜头，及至1959年他们把电子产品中消费类产品的输出比例提高到72%。此间，日本的电子技术

也有一些单项突破，如江崎在1958年发明了半导体遂道二极管。不过，这些发明似乎与日本电子工业当时的方向没有很密切的联系。

日本的彩色电视广播迟至1962年9月才正式开放，日本人全盘采用了美国的NTSC制式。1963年，日本的广播和通信进入了特高频（UHF）阶段。1964年，他们开始了调频无线电广播，这项工作也比美国和英国晚了许多年，美国是从1939年，英国是从1941年开始调频无线电广播的。

现在世界各地充斥着日本的收音机、电视机、收录机和录相机。可谓日本电子技术和电子工业技冠群雄。事实说明，日本发展电子工业的速度是无与伦比的。例如，日本从1951年才开始无线电广播，九年后（即在1960年）它的收音机年产量就达到了12,800,000台。而美国的情况又怎样呢？它从1922年开始无线电广播，九年后（即在1931年）收音机年产量才是四百万台。又如，日本从1953年才开始黑白电视广播，两年后它就能够出口黑白电视接收机了，到了1960年，它的黑白电视接收机年产量就达到了3,570,000台。日本彩色电视工业发展速度也是惊人的。1962年开发彩色电视广播时只生产了4,939台彩色电视接收机满足首都少数人的需

要。1961年，奥林匹克运动会在东京举行，日本生产了几万台14英寸彩色电视接收机满足国内观众的需要，他们还通过国际电信卫星向世界各地实播了奥运会的实况。及至1966年，日本的彩色电视接收机的年产量就达到了56万台，这一年出口的电子产品的总值为8.79亿美元，仅电视接收机一项就有3.27亿美元，占总出口的37.5%。这项出口值等于法国在1961年出口的电子产品总值的两倍。

“技术迟滞”对于正在崛起的日本电子工业是无关紧要的。重要的是善于提炼西方工程师们看来似乎过时的技术，经过洞察国际市场，选择突破性产品，以空前未有的速度大量生产，一次性抛售于国际市场，以收回资本、积累资金，为购买新技术、推动前沿研究奠定基础。例如，美国在1960年已用硅三极管普遍取代锗三极管，而日本才刚刚开始研制硅管。他们在研制硅管的同时大量生产锗管，这一年的锗三极管产量竟达到13.9亿只，超过了美国有史以来生产的全部晶体三极管的一倍半。他们将这些锗管用来装配收音机，大量抛售于美国和西欧市场，颇受西方人欢迎。1961年，迅速减少锗三极管的生产，这意味着他们的新产品——硅三极管马上要开始大量生产了。这个事例说明，日本

不怕“技术迟滞”，而是在巧妙运用“技术迟滞”，在由旧技术向新技术过渡的期间拚命推出还被西方人欢迎的产品，以获得经济活力，确保开拓新技术的财源。

保护国内市场，一切工业的出发点是为了抢夺国际市场，这就是日本的一项基本国策。日本政府要求日本电子工业保持两项指标常增不减，一是出口的电子产品总值占电子工业总产值的比率，二是消费类电子产品的出口占总出口的电子产品的比率。下面表格中的数据表明第一个指标在1962～1966年间是持续上升的。

	年产值		年出口值		年出口占年产值的比值
	(百万日元)	(亿美元)	(百万日元)	(亿美元)	
1962年	668,900	18.5	113,400	3.15	17.0%
1963年	698,600	19.5	139,100	3.86	19.8%
1964年	857,600	23.8	177,300	4.92	20.7%
1965年	866,900	24.1	215,700	5.99	24.8%
1966年	1,117,500	31.0	316,700	8.79	28.3%

（引自《日本电子工业（1967）》，P.6）

日本输出的消费类电子产品一般都占输出的全部电子产品的一半以上。日本人曾一度怀疑消费市

场会趋于饱和，而想改变输出产品的结构。1960年，日本政府提出了所谓“3Cs五年计划”，要求电子工业在五年内逐步由以消费类产品生产为主过渡到以“计算机、控制和通信”为主的阶段。虽然经过这个五年计划，日本的计算机、控制和通信设备有了较快的发展，但实际输出的消费类电子产品仍是有增无减的。以1966年为计，日本输出的消费类电子产品值仍占64%，而电子计算机只占2.2%，无线电通信设备只占6.8%，有线通信设备只占1.3%，电子测量仪器才占1.1%。日本的3Cs五年计划的长期效应在七十年代末才显示出来。现在日本的电子计算机可以长驱直入打进美国市场，并对美国形成直接威胁，这与日本的3Cs五年计划所打下的基础是分不开的。随着现代消费概念的变化，计算机中很大一部分也应当属于消费类产品。从这个角度来说，日本始终没有背离它的初衷——把消费类产品的输出放在战略的高度。

日本一边在抢占美国和西欧市场，一边在着手开拓亚洲市场。亚洲的文化生活水平普遍低于欧、美，对于接受高技术的产品有一定的困难。如果说因此放弃亚洲市场，那就是一个绝大的错误。亚洲的面积超过了北美洲和欧洲的面积之和，人口也超

过了这两洲的人口之和。一旦把它开拓起来，无疑是世界上最大的市场。鉴于这种情况，日本在1961年10月23日至28日在东京召开了第一届“亚洲电子学会议”，出席会议的有中国、马来亚、印度尼西亚、菲律宾、巴基斯坦、朝鲜、锡兰、泰国、印度、缅甸和越南。澳大利亚也派代表参加了会议。会议发表的联合声明指出：

“在广泛的基础科学的基础上迅速发展起来的电子学，是所有现代科学和技术的核心，是提高产业、经济和文化标准所不可缺少的。促进它的发展需要大多数人的合作，特别需要在地区上和文化上紧密相关的人们的合作。”

会议决议要求与会代表回去向政府和人民大力宣传发展电子工业的意义，要求与会代表回去建立相应的电子学组织，以促进电子系统的相互协作。

1963年10月2日至8日，第二次亚洲电子学会议再次在东京举行，中国没有参加这次会议，台湾和香港的代表出席了这次会议。这两次会议便是日本打入亚洲电子市场的起点。

放眼于国际市场，优先发展优质低价的消费类电子产品，取得经济活力以支持电子前沿技术的研

究，这就是日本在六十年代发展电子工业的基本模式，也是他们对美国的挑战所作出的应战姿态。

4-8 加州版图上的一块中规模“集成电路”

在旧金山东南50英里的地方，座落着一个名叫帕洛·阿尔托的小城镇，那是肖克莱的故乡。从帕洛·阿尔托径直向南可以到达圣何塞，中间要经过的一条狭长的肥沃的平地——圣克拉拉谷。这就是今日信息革命的圣地，那里密密麻麻而又整整齐齐地排列着数十个半导体公司，不断地向世界输出最新的信息载体和信息处理的技术。这正是引人注目的“硅谷”（Silicon Valley）。它宛如一块放大了的中规模集成电路，正在世界信息的大网络中担负着特殊的信息再生或放大功能作用。

大约在1956年，美国白领工人数目超过了蓝领工人的数目，这标志着美国已经开始了信息革命。也正是这个时候，一位伟大的发明家选择了帕洛·阿尔多这个地方来发展作为信息产业基础的半导体工业，他就是肖克莱。这多少是一种巧合，但却又是

历史的必然。

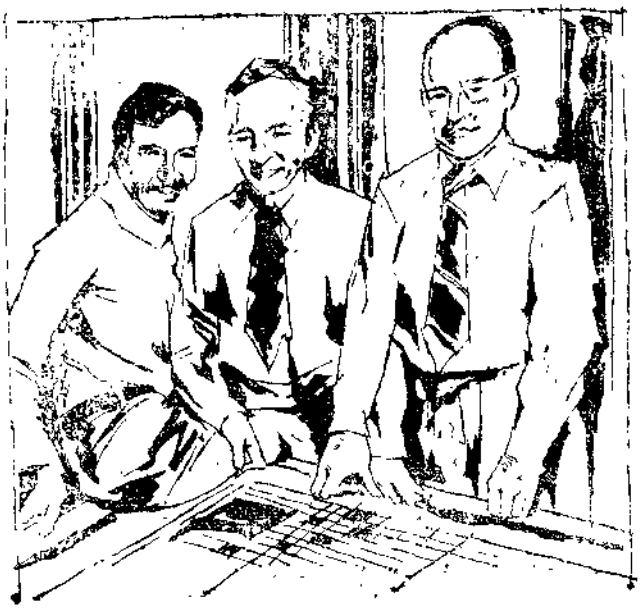
肖克莱在1954年离开了贝尔电话实验室，到雷通公司担任了顾问。他提出三年薪金一百万美元的要求，雷通公司无法支付，他就在1955年离开了雷通，回到他的故乡办起了“肖克莱半导体实验室”，附属于贝克曼仪器公司。1958年，“肖克莱半导体实验室”扩大为“肖克莱晶体管公司”，第二年被克利外特公司买下，后来又被美国国际电话电报公司（ITT）买下。1969年，国际电话电报公司就关闭了肖克莱的工厂。

“肖克莱晶体管公司”的归宿是无关重要的，重要的是它所培养出的一些人才。肖克莱善于发明，而不善于生产。1957年，诺伊斯、莫尔、霍尼尼等八位工程师离开了肖克莱，办起了仙童半导体公司，从属于“仙童摄相机公司”。肖克莱骂他们是“八位天才叛徒”。然而，正是这“八位天才叛徒”引来了集成电路的时代，奠定了现代“硅谷”的基业。

第二次世界大战前夕创立了休利特—帕卡德公司和瓦里安公司，而肖克莱公司、克利外特公司、国际电话电报公司和仙童半导体公司属于“硅谷”的第二批的公司，第三批的有“国家半导体公司”和

“里姆半导体公司”，后者现在已不存在。在硅谷出现的第四批公司有HP联合公司、雷通半导体公司，还有由仙童公司化分出来的人员组织的赛涅蒂克斯公司、通用微电子公司、阿梅尔科公司、西里昆尼克斯公司。其中阿梅尔科公司是由霍厄尼在1961年创立的。

从1966年到1976年间，每年均有几个新兴半导体公司在硅谷建立。其中大多数公司的创立人曾是仙童公司的高级雇员。1962年，飞歌公司与福特汽车公司组成了一个“飞歌—福特公司”。该公司在1966年买下了通用微电子公司而在硅谷成立了飞歌—福特微电子公司。原属通用微电子公司的一些人，曾是仙童公司的雇员，仙童公司那种以分裂来创新业的思想在他们中间有较深的影响。因此，在合并于飞歌—福特公司数月后，他们又分道扬镳，在硅谷创立了美国微系统公司和电子陈列公司。1967年，斯波克（C.Sporck）与几位从仙童公司出来的工程师改组了硅谷的国家半导体公司。喧噪一时的因特西尔公司就在这时也出现在硅谷的版图上，它是由创立阿梅尔科公司的霍厄尼组织起来的。仅在1968年一年中，硅谷又增加了9个新公司，其中有赫赫有名的英特尔公司（Intel）。它是由仙童



英特尔公司创立者诺伊斯
（中）莫尔（右）和格罗夫（左）

公司的创始人诺伊斯和莫尔，以及由他们聘请来的格罗夫（A.Grove）共同创立的。霍厄尼、诺伊斯和莫尔都是肖克莱晶体管公司的“叛徒”，现在他们又背叛了自己创立的公司，创立了更新的公司。这种分裂和创新的行动，是圣克拉拉谷之所以成为今日的硅谷的一个重要原因。

仙童公司对“硅谷”的作用，还可以从这样一件事得以证明。1969年在加州桑尼维尔举行的半导体工艺会议上，四百名代表中除二十几名未曾在仙童公司工作过的代表外，其余都在仙童公司工作过一段时间。人们把这些人亲切称呼为“仙童们”，把他们当作信息时代的神仙。据统计，截至七十年代初。在“硅谷”的四十多家半导体公司就有四十一家是由“仙童们”创立的。如果说斯坦福大学开创了加州的电子工业、特曼是“硅谷”之父的话，那么我们则可称仙童半导体公司是培养“硅谷”血统的“学校”。

持续了二十余年的“硅谷”热，现在还那样风靡于世。在这二十年中，在美国其他一些地方也曾出现过一些规模较小的“硅谷”或“硅城”，但都不能与圣克拉拉“硅谷”同日而语。例如，波斯顿128号大街曾在电子管时代集中了美国电子工业的

精英，在五十年代时也曾为国防半导体工业作出过更大贡献。然而，随着信息革命的到来，半导体技术力量纷纷流到了西海岸，那里的黄金时代就一去不复返了。又如，达拉斯城是得克萨斯仪器公司的所在地，得克萨斯仪器公司在那里分化出一些新的半导体公司。然而仅此而已，它所分裂出的 Siliconix公司后来也迁到了圣克拉拉谷。另一个稍有影响的半导体工业集中地，是科罗拉多州，Honeywell公司最先在科罗拉多斯普林斯设厂。由于那里空气新鲜，水质优良，在七十年代就集中了几家半导体公司，Inmos公司就是其中一个，那里有“硅落矶山脉”（Silicon Rockies）之称。尽管Inmos公司的人称赞斯普林斯是“具有伟大思想的圣地”，但是那里出现的半导体工业还是无法与“硅谷”相比。

从半导体工业发展的历史来分析，圣克拉拉谷之所以成为今日信息工业的一个重要基地，是美国这个社会信息系统的操作的结果。细说起来，圣克拉拉谷成为硅谷有如下几方面原因。

（一）从历史上讲，斯坦福大学在那里创造了良好的工业电子学的基地，这在1.6节中已有叙述。

（二）从个人的角度来看，特曼和肖克莱有着很重要的作用。特曼自从第二次世界大战前就在那里扶植起象休利特—帕卡德这样一些公司。他鼓励学生面向电子工业，并吸引企业家与大学合办公司，甚至在地租和房租高得出奇的加州，他宁肯割让一些校园地盘，来发展新的电子公司。肖克莱的情况却与特曼有所不同，在他回到故乡时他并没有想到要在那里发展半导体集团工业，而只是想利用那里优良的水质和温和的气候来从事高、精、尖产品的研究。由于他的科学探索精神影响了他的公司雇员，一种混合着科学探索与市场扩张的新精神在他的雇员中迅速滋长起来，在圣克拉拉谷破土而出。因此可以说，肖克莱在客观上起到了比特曼还重要的作用。

（三）从地理方面来看，加州气候温和，环境宜人，这是肖克莱辗转数十年后毅然回乡的一个原因，也是其他企业家纷纷云集于此的原因。除此之外，加州自二十世纪以来就一直是美国的战略基地，开辟东方市场的一个出发点。事实上，近三十年来，世界上许多企业家、金融家不再愿意到波士顿一带洽谈生意，而更乐意在旧金山下榻。这种地理位置的转移，无疑对新兴的半导体工业有着巨大

的魅力。

（四）从人口组成来看，第二次世界大战后加州人口增长迅速，人口显著年青化。据一些企业家分析，加州青年文化程度比较高，进取性较强，他们仍然保留有19世纪淘金者的创业素质。这些青年无疑是半导体工业和集成电路技术最需要的人才。

（五）加州的金融家更乐意对半导体技术和其它先进的技术进行“风险投资”。这是西方工业社会史家们一致公认的。“风险投资”只是在政府对电子工业投资显著减少后才显示出它的重要性。政府对半导体工业的科研投资和购买，产生了所谓“紧急效应”，在电子技术上引起连锁反应。随着政府投资在六十年代中期后的减少，“紧急效应”不复存在，掌握了某种突破性技术的人就得寻找资本新源泉，他们就纷纷来到了加州。“风险投资”只有在收效快的条件下才能维持，而半导体工业又恰巧符合这一要求。一般说来，半导体企业家在获得第一批“风险资本”后，首先生产“短线产品”。以取得尽快的回报，然后才投入巩固基业的“长线产品”的研制，作出长远规划。例如，国家半导体公司在1967年改组时仅有五百万美元的资

本。他们先从事在半年内可以取得回报的产品生产。当资本逐步积累起来后，他们就从事需要几年时间才能获得收益的产品的研制。美国微电子器件公司总裁桑德斯（J.Sanders）形象地把这种关系比喻为“莴苣和柏树”。在现金不足时，他们生产只需几个月就成熟的“莴苣”，在获得足够的资金后，他们就营造需要十年才成材的“柏树”。“风险资本”自然最先投向那些生产“莴苣”的公司，一旦“莴苣”生产者得到了回报，“风险资本”便进一步投向了那些“柏树”的营造者。

半导体工业在“硅谷”以集团的形式出现，是一种社会协同学的结果。正如在某地建立了一个火车站，在火车站周围就会出现商业性街道一样。在旧金山存在一个“风险资本”的金融集团，那么“硅谷”的出现便是很自然的事情。每个公司相隔数英里，各公司雇员随时可以互通信息，了解行情，掌握动向，甚至当某公司遇到困难时，可以迅速转让资本。人们从硅谷看到了随着技术情报、商情流通而发生的生机勃勃的资本流通和人才流动的景象。

人才流动在美国是一种十分正常的现象，一个人在某公司工作几年后要转移到另一公司，很少人会在某一公司工作一辈子。人才流动政策已成为

美国一项不成文的基本国策，人才的流动可以增加信息的流动，这则是一个不需证明的公理。美国人倾向认为流动性越高的人的才干越大，而不愿经常转移的人会被认为是没有才能的人。

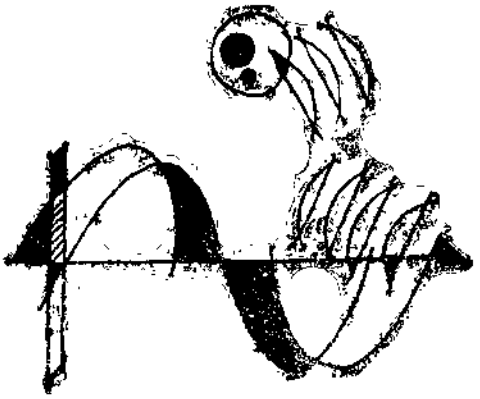
在美国半导体工业中有一个“霍根单位”，这是一个奇怪的“单位”名称，它不是物理量的计量单位，而是衡量个人在社会上流动性能的单位。霍根（L.Hogan）原是莫托罗拉公司的高级工程师，1968年仙童公司出高价收买他，给他年薪十二万美元，并借给他五百四十万美元的无息贷款，以便让他占有仙童公司的九万个股份（每股60美元）。霍根就这样到了仙童公司。这在后来便成了人才转移到新单位的讨价还价的标准。如果某人到某公司找工作，他首先要问给他多少“霍根单位”的报酬，如半个“霍根单位”、四分之一个“霍根单位”，等等。日本和英国与美国相比，则是另一种情况，日本基本实行着终身制，雇员宣誓尽忠于公司。英国虽然不实行终身制，但人员的流动基本上被认为是一件不光彩的事情。如果某人离开了他的公司，在别人的印象上至少打上了一个问号。当他到另一公司寻找职业时，他就会被问及为什么离开原来的公司，或者向他索取原公司的推荐信，否则

不安排工作。如果说日本的终身制还暂时符合日本的国情的话，那么在与美国仅有一洋之隔的英国对于人才限制太死的政策，便形成了阻碍半导体工业发展的重要原因。由于人才不能充分流动，公司得不到活力而降低工业发展的速度；由于半导体工业缺乏新生力而不能形成新的公司，从而无法充分竞争，进而造成老公司维持垄断的局面；由于垄断又限制人才的流动，就造成了一种恶性循环。

美国的人才流动，使得半导体工业显示出机动性，同时又为反托拉斯政策提供了基本条件。霍根在离开通用电气公司时，给莫托罗拉公司带去了十二名高级工程师，而在他离开莫托罗拉公司后，几乎将该公司的所有高级职员都搬到了仙童半导体公司。莫托罗拉公司为此向法院控告仙童公司，结果毫无用处。后来，柯咖公司（Cogar Corp.）也挖了国际商业机器公司（IBM）的墙脚。国际商业机器公司为此向全体雇员约法三章：(1)不准泄露公司机密；(2)有责任宣传和推销公司产品；(3)不准带走公司职员。违者革职论处。用革职之法来遏止人员和情报的外流，似乎是一种很有意思的悖论。因此有人把国际商业机器公司诙谐地称为“我被革职”的公司，英文写法是“I Be Moved”，简拼

而得IBM。

“硅谷”的酒巴间是工程师们最喜欢光顾的地方，他们去那里主要不是消遣，而是为了获得信息、一席酒话，他们就能得知对方的动向，就能打听到其他公司招工的行情。圣何塞出版的《信使新闻》报每逢周末都要刊登四、五十页的招工和寻找工作的启事。这些启事大多数来自硅谷。招工单位不仅出高薪招揽人才，而且愿意为雇员支付交通和住房补贴，允许较长的休假，还实行一星期四天工作制。Siliconix公司的一条招工广告竟这样说：“本公司7月4日大获利润，7月5日来人伙吧！”这种情况表明，在通向未来信息社会的行程中，人才是比任何其他资源更为重要的资源。



第五章

由大规模到超大规模

5-1 由4位到32位

金属—氧化物—半导体集成电路（MOS）能耗低，工艺简单，可达到很高的集成度。由于MOS集成电路在六十年代后半期获得发展，使集成电路工业在1967年进入了大规模集成电路的时代。

关于半导体工业史的分期，有各种不同说法，一般人将它分为分离元件以及小、中、大和超大规模集成电路五个阶段。这种分法自然不为错，但如果考虑半导体工业对社会的推动，还不如简单分为三期：(1)分离元件时期（1947-1959）；(2)早期集成电路时期（1959-1971）和(3)大规模及超大规模集成电路时期（1971年到现在）。仙童公司副总裁霍根主张这种断史方法。它是把半导体工业放

在电子工业的整体中来考虑问题的，能使人们一目了然地看出战后三十多年电子工业经历了三种截然不同的历史变革。在第一时期，主要是材料科学的革命，是半导体材料取代玻璃和金属作电子功能元件的时期。第二个时期是工艺技术革命时期，那时基本材料没有改变，而制造工艺在不断进化。第三个时期是信息处理的时期，是集成电路作为信息的重要载体和处理者的时期，更深刻地说，是硅片代替纸张的时期。这个时期是从英特尔公司制造出第一部4位微处理器的1971年开始的。

大规模集成电路促进了三大件电子产品的发展：电子手表、电子计算器和计算机。早期电子手表的芯片是双极型集成电路，这种电路能耗太高，使1.2伏的手表电池的寿命缩短。这样，就必须用双极型的CMOS集成电路来做芯片。但是，当时CMOS集成电路要求有较高的电压阈值，使它一时还不能作为理想的代替物。离子植入技术解决了这个困难。杂质离子在电场作用下轰击处于常温的硅片，渗杂浓度和深度可以根据积累的电量来精确控制，因而也就保证了能够制造出低电压阈值的CMOS集成电路。随着液晶显示仪的问世，电子手表获得了更大的技术潜力。与发光二极管相比，液

晶显示仪简直是不耗电的，它与CMOS集成电路结合使用，能够做成数字或字母信息的点矩阵显示仪。

计算器更是得助于集成电路而发展起来。日本和美国的半导体工业都十分注意用集成电路来推进电子计算器的发展。1969年，日本Busicom公司与美国的英特尔公司签定了联合生产集成电路计算器的合同，由日本生产外部器件，由英特尔公司生产芯片。从历史上来看，计算机是由计算器发展过来的，最早的计算机实际上都是一些计算器。虽然计算器具有计算机的大多数功能，但是它们基本上是不能存贮程序的，程序掌握在操作者手中，随操作而输入，随指令完成而消失。另外，计算器的芯片在制作时就决定了计算器的功能范围，功能不可根据操作者的意志来增加；而计算机芯片一般是可编程的。人们根据计算器和计算机的相似和区别，自会想到要设计一种程序芯片。英特尔公司的霍夫（T.Hoff）就是其中之一。他向公司保证能够设计出程序单芯片。英特尔公司经过几个月努力实现了霍夫的愿望，生产出世界上第一台微处理器——4004四位微处理器在1971年11月15日宣告诞生。这台微处理器有四个加法器，16个四位存贮器，一个累加器，全部做在一块硅片上。

他们称之为“一块芯片上的微程序计算机”。第二年就出现了“微处理器”（Microprocessor）一词。不久，英特尔公司用四位微处理器与只读存贮器和随机存取存贮器(RAM)组合成四位微处理机系统MCS-4。英特尔公司又发明了可编程只读存贮器（EPROM）。

四位微处理机只能完成有限的数字计算和用来进行电子游戏。如果要完全能够处理26个英文字母和十个十进制数字，则需要八位微处理机。1972年4月，英特尔公司宣布制造出八位微处理机8008。截至1974年，美国已经生产出19种不同型号的微处理机，日本也有两家公司在生产微处理机。这些微处理机包括Zilog公司的八位微机Z80，莫托罗拉公司的八位微机6800和6502。

微处理机的出现大大扩展了计算机服务的范围。它们的通用性、灵活性都是一般计算机无法比拟的。加工工业和制造工业早就盼望能有这样一类处理机。加工工业是指材料的加工工业，如石化工业、炼油工业、化工工业、化肥工业、造纸工业、水泥工业和纺织工业，等等。制造工业是指改变材料的外形来生产直接可用产品的工业。加工工业的自动化问题，主要是参数的自动测

量和流程的自动控制。制造工业的自动化是要解决产品的自动生产问题。相对而言，加工工业比制造工业的自动化对计算机有更强的依赖性。例如，在石油加工工业中，除对流量需要进行测量和监控外，还要对温度、压力、湿度、成分、反应速度等百余个参数进行测量和自动调节。如果在每道工序上都使用一台小型计算机，再由中央计算机进行系统调节，其费用会高到企业家们不愿意支付的程度。加工工业使用联机自动控制是从1959年开始的，截至七十年代中期，世界上用于工业自动化控制的计算机就超过了二十万台。这种发展趋势一方面促进了微处理机工业的发展，另一方面却也是微处理机发展的结果。从历史上看，微处理机和工业的联机控制是互为因果的。此外，交通与通信网络的发展，与微处理机的发展也互为因果。服务和金融系统的现代化、信息化与微处理机的联系更为紧密，微处理机从根本上改变了以往的工业和服务业的关系，创造了新型的产业结构。

1974年，美国已有好几家公司生产出16位微处理机，而英特尔公司的16位微机直到1978年才宣布制成（8086型）。这时集成电路发展到了超大规模的阶段，已能制造出具有10万只晶体管的硅芯

片。此间，莫托罗拉公司生产出一种准32位微处理机——MC68000。该机处理数据使用32位格式，而与外部通信则使用16位格式，它是向32位微机过渡的产品。

1981年，在纽约召开的固体电路学术会议上，贝尔系统、英特尔公司和休利特—帕卡德公司提出了各自的32位微处理机。

与微处理器芯片并行发展的是半导体存贮器。1K位动态随机存贮器最早出现于1970年。所谓1K位就是1024位的简称。1973年又出现了4K位随机存贮器，也属于动态的。另一类存贮器是静态存贮器。静态存贮器所存储的信息是非易失性的，它存储每位的基本电路所需的晶体管数目一般六倍于动态存贮器，因此，静态存贮器的容量总要低于动态存贮器。当1976～1977年出现16位动态存贮器时，静态存贮器的最大容量才达到4K位；当1980～1981年出现64K位动态存贮器时，静态存贮器才达到16K位。1982年，美国西方电气公司宣布造出256K位动态存贮器，莫托罗拉公司接着也生产出256K位动态存贮器，他们采用多晶硅技术，将元件的线宽推进到2微米的水平。日本也不示弱，日本电气公司很快就将他们生产的256K位的存贮器投入了国际

市场。有文献报道，日本在1984年底已制造出512K位的存贮器，是截至目前为止容量最大的存贮器。日本早已宣称，他们拥有生产1兆位随机存贮器的能力。1兆位意味着超大规模集成电路上的三极管数目必须超过百万大关。实际上，他们在1982年推出的名为μPD731000G/C的CMOS只读存贮器已经含有110万只元件，线宽已经细微到1.8微米的量级。

大规模和超大规模集成电路虽然是小、中规模集成电路的延伸，却又是一场更深刻的技术革命的发动者。在集成电路诞生初期，设备制造者还未发现集成电路的价值。他们觉得用分离元件制造电子设备所花的造价比用集成电路还低，原因在于当时还没有足够多的通用集成电路。这样一来，尽管集成电路具有比分离元件的制造费用低的优点，但还不足以抵消电子设备制造费用高的缺点。这里涉及着概念上的障碍，即用户是否已经认识到集成电路本身就是一种基本功能元件。人们总是希望将复杂的东西化为几种基本的东西的组合，或希望只有几个基本的东西，并用它们来进行积木式地组合以产生各种复杂的东西，正如几十万个英文单词由二十六个字母组合而成那样。这种愿望符合西方传统的分析习惯。集成电路的出现，无疑会给人们提出新的

问题：集成电路是否会破坏这种传统的分析习惯。历史给出的答案是否定的。随着通用集成电路的规范化，工程师们就逐渐习惯了把集成电路当作元件使用，用它们来组合成各种专用电子线路，正如用常用简单单词来组合复合词那样。这就是说，人们已经在更高一级的层次上继续发挥了传统的分析方法。这一概念上的进展就为推广使用集成电路提供了最基本的信念。石英电子手表和电子计算器市场的开拓说明了这种情况。在这两种消费类电子产品中，集成电路是最基本不过的元件。1976年全世界的电子计算器和电子手表的产量分别为6,000万个和2,400万个。到了1979年，电子计算器的总产量就上升为7,500万个，电子手表的产量猛增到一亿零四百万只，已占所有手表产量的37%。美国和日本是最大的电子手表产销国，日本的产量将近等于世界产量的三分之一。

在集成电路发展的早期，芯片的设计者们只能根据用户提出的参数要求进行设计。现在，他们借助于小型计算机可以设计出可编程计算机芯片。在设计过程中，他们必须顾及硬件和软件。这个时代的集成电路的设计者不懂软件是不行的，他们设计集成电路不再只从参数出发，而必须根据系统的原

理。因此可以说，大规模和超大规模的技术革命，首先是从半导体工业内部发生的。可编程芯片已经越来越复杂，设计周期往往超过了数十人年、甚至数百人年。现在，借助于计算机辅助设计（CAD）可以成十倍、甚至成百倍地降低设计工作量，因而也就成十倍、甚至成百倍地降低了程序芯片的价格。以16位微处理器芯片为例，它在七十年末的平均价格已经降至30美元，相当于五十年代中期一只硅三极管的价格。

1977年，美国加州理工学院教授米德（C.Meade）提出一种制造超大规模集成电路的工艺。他主张，先将标准单元集成电路在一块硅片上布置成阵列结构，然后再用特殊的掩模来制造单元之间的连线。掩模不同，所制造的集成电路也就不同。阵列结构是标准的，均由一种或数种基本单元排列而成，这些单元和结构可以储存在计算机中，通过计算机辅助设计来完成布图，通过计算机辅助制造来加工。掩模是非标准化的，由专门生产掩模的工厂来生产，正如铸造厂生产木模、金属模或蜡模那样。由于这种原因，人们将集成电路的生产厂形象地称为“硅翻沙厂”或“硅铸造厂”。

现代的集成电子学是半导体硬件、计算机软件

和系统工程三项内容的结晶。它在计算机工程和社会诸多方面显示出日益深刻的影响。七十年代生产的一台微处理机价值平均为100美元，而其速度和可靠性分别超出了第一台电子计算机 ENIAC 的二十倍和一万倍，其能耗和所占空间，才是后者的1/56,000和1/30,000。集成电子学还把超大规模集成电路发展为当代最有效的信息载体。书报、杂志、纸钞、支票、证券，以及一切以纸为载体的信息，将逐步被“印刷”在超大规模集成电路上，这是一种活的载体、可变的载体，呼之即来，挥之即去；它们又是一种安全、可靠的存贮器，不怕丢失，不怕窃盗，只要周期刷新，就能永世长存。现在的“硅翻砂厂”兼有造纸厂和印刷厂的双重职能，可以预期，二十一世纪将是集成电路普遍取代纸张和印刷术的世纪。

5-2 超大和超微的结合

集成电子学对无限小空间的追求也就是对速度的追求。MOS集成电路的关键尺寸是“源”和“漏”之间的距离，双极型集成电路的关键尺寸是基极厚

度。这些尺寸越小，载流子渡越时间越短，集成电路的开关速度也就越快。二十多年来，集成电路工艺水平一直是以这种超微尺度来表示。随着尺寸缩小，单位面积所含元件数日越多，因而超微和超大同时出现，综合体现了集成电路工业的现在和未来。

工艺的进展不仅把线宽压缩到尽可能小的尺寸，而且把集成块的面积扩大到尽可能大的程度。面积增大是以可靠性为保证的，因为面积越大，出现疵点的几率就越高，任何一个疵点都会导致集成电路报废，根本无法复修。在六十年代中期，集成电路的平均面积只有一平方毫米，元件线宽却有50微米。七十年代中期，面积增至25平方毫米，线宽下降到十微米。到了八十年代初，面积增至一百平方毫米，线宽就下降到一微米，我们不妨用各种比例的缩微地图来形象比喻集成电路的这种进展。六十年代中期的集成电路，宛如缩微的北京市中心地图，天安门、东单、西单在它上面整齐排列着。七十年代的集成电路，宛如缩微的华北地图，在上面不仅可以找到各大城市，而且能够找到各乡、镇、街道。八十年代初的集成电路，就象一张比例更小的中国缩微地图。

现在，超大规模集成电路已进入亚微米的阶

段。一些美国公司可以把线宽做到0.5微米的尺寸，这个尺寸相当于可见光的一个波长。麻省理工学院林肯实验室发明的X-射线光刻机的校准精度可达200埃，几乎接近于电子束扫描刻蚀机的精度。

从技术的角度来看，X-射线光刻工艺达到了硅材料的物理极限，这个极限是0.2微米，低于这个尺寸，电击穿难免不发生。X-射线光刻工艺可以制出尺寸为0.1微米的线宽（当然现在还没达到）。预计十年内人们还不可能用其他半导体材料来普遍代替硅材料。也就是说，十年内我们还可以继续使用和开发X-射线光刻技术，使它发展到尽善尽美的水平。等其他更先进的材料代替硅材料时，它就作为一项十分成熟的工艺而用于新材料。

截至八十年代初，数学逻辑电路仍然沿着双极型集成电路和单极型集成电路的两个方向并行发展。单极型集成电路可以说是一种平面结构，源、漏和栅都是做在同一平面上的。而双极型集成电路属于垂直结构，在这种集成电路中，发射区处于最上层，其下是基区，最下面是集电区。平面结构制造工艺简单，而垂直结构较为复杂。

1971年，美国的佩尔泽（D.Peltzer）和亨顿（B.Herndon）提出了集成注入逻辑集成电路工

艺，一反往常的双极型集成电路的结构，使集电区处于最上层。这样做无需特殊隔离，提高了集成度、降低了功耗。

提高双极型集成电路的关键在于减小基区厚度和改善元件隔离条件，这需要采用浅离子植入、薄外延层生长工艺和多晶硅自调结构。日本电气公司在八十年代初发明的多晶硅自调技术（PSA），以及由日本电话电报公司发明的超自调双极技术，已使基区厚度降到亚微米。他们用这种技术生产出256×4位的静态存贮器的存取时间仅为2.7毫微秒。这种产品已投入国际市场。

在单极型集成电路中，有三种基本类型。一是以电子为载流子的N-沟金属—氧化物—半导体集成电路（NMOS），这种集成电路的速度较后面两类高。第二类是以空穴为载流子的金属—氧化物—半导体集成电路（PMOS）。第三类互补金属—氧化物—半导体集成电路（CMOS）。以蓝宝石为衬底材料的硅—氧化物—蓝宝石集成电路（SOS）是单极型集成电路的近期发展。这种电路的尺寸比CMOS集成电路的缩小了30%，从面有效地提高了单极型集成电路的集成度。

现在，集成电路的发展不仅限于线路和工艺的

改进，而且也反映在探索新半导体材料方面。砷化镓(GaAs)很可能成为取代硅的材料。砷化镓半导体集成电路速度快、能耗低，但目前这种集成电路的集成度还不太高。不论美国和日本，都在研制砷化镓超高速集成电路上投注了大量人力和物力。

围绕微处理器发展起来的超大规模集成电路工业不仅是技术密集的工业，而且也是资金密集的工业。半导体材料虽然廉价，但制造工艺十分复杂。从原材料到成品要经过数十种工序，要用到十几种最为尖端的技术。以日本制作硅集成电路为例。他们进口粉末金属硅，每克约为一日元，制成一克多晶硅约值十日元，制成一克单晶硅约为一百日元，再制成硅片就值一千日元，最后制成集成电路就值一万日元。

随着工艺的进化，设备的价格线性地增长起来，以致许多半导体公司无力应变。1966年的扩散炉平均价格为三千美元，到了1977年扩散炉价格就上升为一万两千美元；离子植入设备价格竟达到了10万至30万美元。美国在1975年对集成电路设备的投资占集成电路销售额的7%，到了1979年就翻了一番，上升为14%。日本也是这样，它的这项指标由1975年的10.5%，上升为1979年的22.4%。由于这

种原因，有人称集成电子工业为“蚀金虫”，日本的一些公司甚至认为集成电路工业是不赚钱的工业。既然如此，为何要发展集成电路工业？是什么力量促使集成电路成为一个领路的工业？世界各国又采用了什么战略和策略来保证这个薄利甚至是无利的工业发展呢？

5-3 超大规模集成电路的国际之战

前面有关章节已经论述过美国半导体工业在七十年代前成功的原因。简要地说来，美国半导体工业的机动性和美国政府的反托拉斯法，是两个重要的因素。此外，美国军事国防工业对半导体工业的促进是不可忽视的。美国国防对半导体投资主要以两种形式出现，一是科研和开发投资，二是政府的购买政策。前项投资主要给老的电子公司，而后项投资则是以合同方式出现，主要投放给新的半导体公司。有些人认为美国对半导体的科研和开发投资是失策，因为老的电子公司没有取得实质性进展。另一些人则反对这种观点，认为这些投资是完全必要的，它们提供了必要的起始动力。如美国政府在

1952年投资一千一百万美元建立合金结晶体管生产线，在1957年投资一千五百万美元建立扩散型晶体管生产线，以及在1959年投资一千万美元来研制集成电路，等等，这些投资都是恰到好处的。从1958年到1974年的十六年中，美国政府对半导体工业投资为9.3亿美元，而私人投资（包括风险投资）12亿美元，超过了政府投资。这个数据似乎又说明了这样一个道理：无论如何也不能忽视美国私营金融系统对电子工业的贡献。“风险资本”对电子工业的投资的目的，一是要试探这个工业可获利益的潜力，这已为七十年代的历史所证明；二是为了以电子工业作为美国的王牌力量，去与日本和西欧强国进行国际争夺，以形成对美国金融系统有利的国际市场。

自1973年起，能源危机席卷了所有西方发达国家和日本。许多以不可再生能源为动力的工厂倒闭，大量汽车停在汽车库里无法开动。大规模集成电路带动的信息产业深刻地改变着人的生活观念，推动了社会和产业结构的变革。人们发现，电信可以在很大程度上取代交通，以信息传递和处理为基础的家庭电子化改变了人们的娱乐方式，从而克制了人们对能量大肆消费的行为。作为高信息载体的

大规模集成电路引起了信息“爆炸”，信息“爆炸”又大幅度地促进了集成电路工业发展。美国、西欧和日本形成了最大的半导体市场，对这个市场及其他国际市场的争夺，便引起了激烈的超大规模集成电路经济战，造成了“三足鼎立”之势。

让我们看看如下两组数据。一是北美、日本和西欧在1978年对半导体消费的比例：北美占38.8%，日本占27.5%，西欧占26.3%。另一组是美国、日本和西欧在国际半导体市场中倾销额的比例，美国占58.6%，日本占28.4%，西欧占12.9%。对照两组数据可以看出，美国和日本的国际半导体贸易是出超的，美国出超最大，而西欧是入超的。这种比例一直保持到1983年还没有多大变化。

美国取得大规模集成电路国际市场的优势，一是由于它的领先技术，二是决定于它的战略和策略。从七十年代以来，美国半导体工业已由原来注重国内市场转移到注重国际市场的阶段。政策的改变有能源危机的原因，也有关税壁垒方面的原因。能源危机使西欧、日本和一些发展中国家增加了对半导体的消费。例如，1956年英、法、西德和日本四个国家对半导体消费的总值只是美国的15%，而在能源危机刚发生的一年就猛增加到美国的75%。由此

看来，国际半导体市场在迅速开拓着。面向国际市场，创造半导体工业的新出路，便是美国所采取的一个重要战略。

至于各国关税壁垒，并没有阻止美国去开拓国际市场，相反却促使它主动采取以攻为守的战略。美国对电子工业产品的关税为5—7%，而日本和西欧的关税则高达10—20%。鉴于这种不利条件，美国半导体公司采取了在国外（西欧、新加坡、马来亚、南朝鲜、墨西哥、台湾等地区和国家）设立半导体工厂的策略。在外设厂，就地产销，弥补了因直接输出在关税上所造成的损失。在海外设厂还有另一层好处，那就是美国在海外工厂生产的半导体产品可以反过来“输入”美国，这些公司就利用本国关税低的有利条件大获其利。美国在1977年的这种“返输入”的半导体值达11.2亿美元。据美国商业部报导，1977年输入美国的半导体总值为13.5亿美元，扣除“返输入”之值，只还有2.3亿美元的半导体是由日本和西欧输入的，其中来自日本的输入还占很大的比例，约为1亿美元，来自其他西欧国家的半导体是很少的。

美国半导体工业结构从七十年代以来也发生了重要变化。他们的“集成生产工程”反映了这种结

构变化的一个重要方面。这里所说的“集成生产”，又可翻译成“综合生产”，系指生产集成电路的公司为确保一种稳定市场而着意开辟计算机或电子设备的生产部门。他们将自己生产的一部分或大部分集成电路用于装配计算机或电子仪器设备。这样，不管国际市场发生什么变化，他们的集成电路的销路都不会受到严重影响。这种生产结构又称为“向前集成生产”。得克萨斯仪器公司属于这种类型的公司。它在整个七十年代一直保持着美国头号半导体企业的地位。另外，还有一种“向后集成生产”，这种生产结构是指原来只生产计算机或电子设备的公司，为了确保集成电路的来源而着意开辟生产集成电路。国际商业机器公司属于这种类型。由于这种原因，它就保持着国际电子计算机的霸主地位。

“集成生产”只有那些实力雄厚的公司才能开展。如果说美国五十年代半导体工业依靠新型小厂的崛起而得到发展的话，那末，在七十年代就不能再单单依靠这些小公司来与西欧和日本的托拉斯集团进行抗争。日本电气公司、西德西门子公司以及荷兰菲利普斯公司都已成为雄踞世界各地的强大的电子财团。我们知道，美国通用电气公司曾一度发

明金属—氧化物—半导体集成电路（MOS），但后来竟退出了半导体工业。象这样一个生产电器、电机和通信设备的大公司，一旦放弃生产集成电路，马上会遇到供求方面的困难。他们已经觉察到问题的严重性，预计在1985年将有60%的产品要用到超大规模集成电路。鉴于这种情况，他们在1980年宣布恢复生产集成电路。与此同时，还承担了美国国防部提出的“超高速集成电路”（VHSIC）工程。1981年9月，他们以2.35亿美元买下了“硅谷”的因特赛尔公司，把它当作生产集成电路的部门。美国威斯汀豪斯电气公司模仿他们，以一千四百万美元买下了“硅谷”的西里昆尼克斯公司的21.6%的股份。

美国半导体市场迅速扩张，西欧怎么办？从七十年代末以来，西欧各国政府感受到越来越大的压力，英国更是感到窘困不堪。它在1977年的集成电路的产值才不过6.23×10^{7}英镑，而它的消费就达到了1.1×10^{8}英镑。这意味着得有43%的半导体从外国输入。它在1978年的集成电路的产值，还不到得克萨斯仪器公司产值的十分之一。

为了扭转被动局面，西欧各国相继采取了一些

战略和策略，大体可以归纳为：

（1）着重投资已有的大公司，使它们具有争雄的能力。1979年，排在前面的19个世界最大的半导体公司中，美国占有10个，日本有6个，而西欧只有三个。其中荷兰菲利普斯公司名列第三，西门子公司名列第十，法国汤姆孙通用无线电公司（Thomson CSF）名列第十六。英国还没有一个。由此看来，在原有的基础上来发展出一些超级公司是迫在眉睫的任务。

（2）政府投资购买美国的半导体公司，以增加西欧的实力。在这一方面，荷兰、英国、法国和西德都下了大赌注。如菲利普斯公司在1975年买下了“硅谷”的赛涅蒂克斯公司，英国的费朗蒂公司在1977年买下了“硅谷”的“国际设计公司”，西门子公司在1979年买下了美国的微波半导体公司。最引人注目的是，“硅谷”之母仙童公司在1978年以3.63亿美元易手给法国的施吕姆贝尔热公司。

（3）与美国或日本进行联合冒险。这项策略虽然不是一项长期性战略，但却能取得近期的效益。其具体做法是购买美国或日本的一些半导体公司的股分，这样做既可获得技术，也可以扩大市场，同时还兼有实现“集成生产”的优点。法国在

这一方面表现得特别积极。如法国阿尔萨斯电信协会工业公司在1980年购买了硅谷半处理公司的25%的股分。法国人总是力图将它们在多国公司的股分提高到51%以上，以保持在公司中的绝对地位。这一点被英国人视为十分成功的经验。英国通用电气公司和仙童公司以一半对一半的资金在英国开辟新的工业区。由于仙童公司已易手于法国，这就成了一场英国和法国的联合冒险。

（4）创办新的半导体企业。这一点虽具长期的效应，但不易实现。其原因在于，西欧各国均无象美国那样的反托拉斯政策。再则，七十年代后的集成电路工业是知识密集和投资密集的工业，各种设备费用均比十年前高出一个数量级。在五十年代有一百万美元就可以办起一个规模相当大的公司，而在现在则完全办不到了。

从1977年开始，西欧各国政府相继提出超大规模集成电路或微电子工程计划。如1977年5月法国政府宣布的“集成电路计划”，并为此投资1亿5千万美元，让法国的公司与美国的公司进行联合冒险。又如同年意大利政府颁布的第675号法令——“工业生产合理化和发展法”，他们为此计划投资的12亿美元中有1亿5千万美元作为对半导体工业的

低息贷款。1980年，西德研究与技术部拨款3亿美元，用来实行超大规模集成电路两年计划；西门子和德律风根两大财团也为此投资了3亿美元。在七十年代末，英国只有三家公司生产集成电路——英国通用电气公司、普莱赛公司和费朗蒂公司，它们的总销售额不过5千万美元（1977～1978年度）。1977年，英国政府提出了两项计划——“微处理机应用规划”和“微电子工业支持计划”（MISP），并为实现“微电子工业支持计划”，拨出专款五千万英镑。

鉴于美国硅谷成功的经验，英国在八十年代在苏格兰的利文斯顿也搞了一个“硅谷”。利文斯顿位于爱丁堡和格拉斯高之间，是苏格兰五座新兴城市之一，建于1962年，现在是苏格兰的交通枢纽，它离爱丁堡大学、沃尔夫森微电子研究所只有15英里的路程。不论在工业、交通方面，还是在文化方面，都是一个很好的地理位置。况且那里风景美丽，水质良好。截至1984年，那里已经形成具有4万工人的多国性的强大的半导体工业，是仅次于美国“硅谷”的第二大的集成电路生产基地，西德、法国、日本、比利时和爱尔兰相继在那里投资。日本电气公司已投资四千万英镑，在那里建立了

“日本电气公司半导体联合王国有限公司”。

现在让我们看看日本的情况。

日本是一个岛国，资源和能源甚缺，只能满足于国内所需的5%。第二次世界大战后，它被禁止生产武器装备，不准从事导弹和原子弹的研究，这反而对日本的经济复兴有利。自那以来，日本政府一直采取保护产业的政策，其内容大体如下：

1.不进口产品，只进口原材料；

2.提高关税，保护国内市场；

3.欢迎输入技术；

4.公、私双方共同投资工业；

5.对新工业采取发放低息或无息贷款、免税的办法，以及专地拨用或发放研究和开发资金；

6.工业以世界市场为目标建立长期战略。

日本政府通过这样一系列政策，使日本财政在六十年代中期达到国际收支平衡，从1965年开始获利，随着就向发展中国家输出电子产品。在七十年代初，遇到了能源危机、污染、美国禁运纺织品和西欧防范等方面困难。日本政府在这时决定改变产业结构，以适应时局的要求。通产省起草的“国际贸易和产业政策报告”，强调要把知识密集和较少消耗能源的工业放在首位。这些工业包括微电子技

术，计算机，通信机，核能装备，特种金属，特殊材料，商业机器和污染监视装置等项内容。日本这次产业结构的重大改变，对于巩固和发展日本微电子工业在国际市场中的地位特别有利。日本的电子产品，特别是消费类产品大量涌进美国市场。日本的彩色电视接收机从1975年到1976年6月的18个月中，就从占美国彩色电视接收机市场的15％猛增到40％。仅在1976年头7个月中，输入美国的日本彩色电视机竟达一百三十万台，比1975年同期增长53％。由于日本还在拚力争夺西欧和发展中国家的市场，使得美国的消费类电子产品在国际贸易中从1974年到1976年连续出现赤字。这就引起了美国企业界的愤怒。他们向美国政府呼吁，要求采用强硬措施，迫使日本在公平合理的国际贸易中进行竞争。日本对美国的电子产品的关税几乎是美国关税的两倍，日本限制美国电子产品入口的项目多达两百多种，而美国对日本的产品几乎没有任何限制，日本的技术人员出现在美国的各个公司和实验室里，而美国的技术人员则不为日本公司所欢迎，诸如此类不平等的交往引起了美国政府的注意。美国在1977年就开始限制日本彩色电视机和其它主要消费类电子产品的进口量。这一决定使日本1978年电子产品

的输出比1977年减少了1.8%，其消费类电子产品的输出占总输出的比例，有史以来第一次低于50%（只有49.9%），其中受到冲击最大的是彩色电视接收机，它比1977年的输出值减少了27.8%，磁带录音机的输出也减小了13.1%。在消费类电子产品中唯一没有减少输出的是家用磁带录相机，因为这项产品的国际市场方兴未艾，美国对此产品输入亦没有作任何限制。与消费类电子产品形成鲜明对照的是日本的计算机和集成电路，这两项产品在1978年的输出比1977年分别增加了70%和67.7%。这种现象是“硅革命”和“信息革命”的必然结果，因为计算机和大规模集成电路在现在不是多了，而是远远还达不到产业和生活的所求。有人对全世界消费的半导体进行了统计，发现这种消费量是按几何级数规律增长的，平均每五年要增长一个数量级。1980年，全世界消费的当量晶体管数目为3×10^{12}只，到1985年，全世界消费的半导体将达到3×10^{13}个当量晶体管，每人平均一万只。

美—日微电子工业之战仍在激烈进行。在两个十年之交，美国和日本在64K动态存贮器的产销上发生了一场争夺战。不少人认为，在这场交手战中美国处于守势，日本取步步紧逼的进攻姿态。美国

政府在这时也采取了应急措施，他们在1982年迫使日本政府同意将双方的关税都降到相同的水平——4.2%。这一项措施是美国半导体企业家们呼吁多年的结果。原仙童公司副总裁霍根在回顾这场超大规模集成电路美—日交手战时说道："回顾日本的历史，在这个问题上我们对日本人的行为感到失望。我们可以沿着过去曾经使我们在几乎所有电子学领域都处于领导地位时所走过的道路，在超大规模集成电路时代继续前进并领导世界。我们或者可以忘记日本，或者迫使他们以开明的和平等的态度来与我们竞争。我的意思是说，我们要迫使他们以互惠的方法进行竞争。事实上，这对我们来说是易如反掌的事情。

我们刚刚对他们的所有物质和产品实行增加关税，直到我们感觉他们愿意根据我们所愿意使用的同样法则来进行竞争为止……我相信，这就是我们所能采取的唯一行动，这样做将迫使他们与我们合作来建立美好和富裕的世界。"

西欧一些企业家抱怨，西欧各国之所以无法与日本抗衡，是因为缺乏一个象日本那样的通产省，该集权领导机构一直把日本的集成电路和微电子技术工业拧在一起，并给予投资。例如，在1971年到

1976年间，它就给集成电路工业投资了1亿美元，从1977—1979年间，它又投资两亿五千万美元来研究和开发超大规模集成电路。这就是日本之所以能在1980年使其16K动态存贮器占有40%的国际市场的一个重要原因。日本所以对欧洲共同体有恃无恐，还因为它抓到了西欧企业家们的一些弱点。他们发现，凡是那些对日本叫嚷最凶的人，也就是购买日本电子产品最多的人。

五十年代的东、西两大阵营间的冷战，六十年代的空间技术，都是促进美国电子工业发展的重要因素。七十年代的美国的微电子工业几乎丧失了来自国防的动力。这十年又是经济敏感的年代。先是石油危机，后又是日本产品的输入，这些现象又与信息膨胀编织在一起，互为因果。在里根政府和卡特政府的更替期，苏美冷战重新加剧，随着国防预算的增加，军事电子工程又被放到了突出的地位。里根总统提出的1981—1985年的国防预算达12,700亿美元，比卡特总统原先提出的同期国防预算超过了三千多亿美元。这是里根根据美苏在1980年支付的国防费用的情况所作出的决定。在这一年里，苏联的国防开支达到1,650亿美元，而美国只用了1,427亿美元。里根总统还呼吁西欧和日本加强联合防御。

这是千虑一得还是千虑一失，暂且不去谈论。我们所关心的是，在这12,700亿美元的国防预算中有1，775亿美元是用来投资电子工业技术的（包括研究和发展投资和购买产品的经费）。这是一笔很大的数目，因为在1981年美国、日本和西欧的电子工业总产值才是3,020亿美元。作为国防电子学的一个重要组成部分，是美国的超高速集成电路工程，这项工程旨在开发MOS，CMOS，SOS及双极型集成电路，是从1980年开始的六年计划，美国国防部为此专拨三亿二千万美元的开发经费。这项计划分两个阶段进行，第一个阶段的研制工作已把集成电路的线宽推进到了1.25微米；第二阶段的工程是从1984年开始，最终目的是要把线宽再度降低到0.5微米。毫无疑问，八十年代的超大规模集成电路工业在国防部的支持下将获得较快的发展，美国的一些企业家对日本产业界的恐惧心理正在逐步消失。

5-4 现在是“冯·诺伊曼”第四代

1971年得克萨斯仪器公司生产的超级计算机

“高级科学计算机”和英特尔公司发明的第一台微处理机4004，标志着计算机进入了第四代。关于第四代计算机的提法，现在尚有一些分歧，大多数人认为以大规模和超大规模集成电路为芯片的计算机属于第四代，另一些人则认为第四代计算机在结构上应有重大突破。由于从七十年代到现在的计算机仍然包含着中央处理器和存贮器这样两个大的板块，它们之间通过数据总线相连。这种结构属于“冯·诺伊曼计算机”的传统结构。由于这种原因，一些人（特别是日本人）宁肯将七十年代的计算机列为3.5代，而将八十年代的计算机列为第四代。然而，从现在情况看来，历史并没有把两个十年明显区别开来。因此我们不妨把进入七十年代后生产的计算机称为第四代计算机，以与日本人决心在九十年代将要实现的第五代计算机相区别。

如果说六十年代的计算机工业已经出现向着大型机和小型机两个方向发展的趋势的话，那么，现代计算机工业是沿着超大型机和微型机的两个极端发展的。我们没有任何理由否定科学研究已经迫懈了对于大型计算机的要求，地质勘查，地震预报，作物估产，天气预报，以及数学、物理学和分子工程，都需应用具有每秒数百万次以上的运算能力的

大型和超大型计算机。同时，我们也看到就在这一年，在美国运行的计算机总数已有二十二万台，其中40%属于巨、大、中型机，其余是小型计算机。根据这个数据，平均每一千个美国人享有一台计算机，这里还不包括各种字长的两千五百万台微处理机。

再看看小型机和微型机的情况。以微型处理器为中央处理单元的微型机在八十年代初得到迅速发展。由于存贮器芯片集成度不断提高，使微型机的内存容量增加到128K和256K字节。目前，大多数微处理机制造公司为用户提供专用开发系统，一个配备适当的开发系统的费用可高达35,000美元，而被开发的微处理机可能仅值100美元。现在一些低成本的微型机（如苹果计算机）已不仅能满足家庭和业余爱好者的要求，在小规模的文字处理和事务处理的方面也有了广大的市场。“苹果”公司及坦迪公司在生产微型机领域占了领先地位，他们所占微机市场分别达到25%和28%。小型计算机的发展也十分迅速，其主要原因是内存贮器和硬磁盘、软磁盘的价格不断下降。美国目前生产的小型机内存贮器容量至少有128K字节，而高档机的内存贮器容量达16兆字节。现在32位超级小型计算机已发挥出日

益强大的功能，使得大型机和小型机的界线开始变得模糊。例如美国数字设备公司生产高档超级小型机VAX-11/780的主存贮器容量达8兆字节，输入和输出变换速率达13兆字节/秒，可连接128个终端，并可同时处理64个用户的信息。

电子计算机从来不可能没有存贮器或记忆功能元件。第二次世界大战后最先用的存贮器是超声波水银延时线，那是从雷达技术中借用过来的。延时线存贮器是一种串行存取存贮器，存取时间一般很长，限制了整个计算机的运行速度。随后它们就被阴极射线管存贮器所取代，这是在计算机史上出现的第一种随机存取存贮器。在六十年代中期，双极集成电路被用于制造半导体静态存贮器。它们的存取时间极高（10毫微秒至0.1微秒），被用来当计算机的缓冲存贮器。以磁鼓和磁带作为存贮介质的存贮器虽然早在五十年代已经出现，但它们获得真正发展还是在六十年代，是在巴勒斯公司提出虚拟存贮概念的1963年后的事情。人们把磁鼓、磁带和磁盘等存贮器被视为海量存贮器，它们存贮量大（可达到150兆字节）而平均存取时间长（0.1秒至100秒），它们一般被当作外存贮器，存储计算机不经常用到或暂时不用的信息，一旦需要用到它们

存储的数据时，就将相当的信息取出输入计算机内的主存贮器。目前存储量最大的外存贮器是光盘存贮器。光盘存贮器是在软磁盘和硬磁盘的基础上发展起来的，一般通过半导体激光器作读、写器件。它们的道密度可达每英寸两万道，近似于磁盘的二十倍，存储容量可达5000兆字节。光盘还是一种非易失性存贮器，数据保留周期可达8—10年，用它们作国家信息档案是最理想的。菲利浦斯公司在八十年代初已经抢先制出100亿位的光盘存贮器，是有史以来最大的海量存贮器。

一般来说，存贮器的存储量和存取速度之积大体是一个常量。外存贮器存储量大而存取时间长，内存贮器的存储量小但存取时间短。自从七十年代以来，工程师们一直努力制造一种“鞋盒”存贮器，这种存贮器容量具有10^{12}位，而存取时间仅为1毫微秒。虽然这种存贮器还无法制造出来，但人们已经填补了存在于海量存贮器和快速存贮器之间的巨大空隙。用以填补空隙的是金属—氧化物—半导体存贮器(MOSRAM)、电荷耦合器件(CCD)、磁泡存贮器、电子束存贮器和约瑟夫森存贮器，等等。

值得略带一笔的是磁泡存贮器。磁泡存贮器是

根据磁学中的磁畴的概念制成的，它首先由波伯克（A.H.Bobeck）在1967年提出。七十年代末，美国、日本和西欧争相发展磁泡技术。但是当得克萨斯仪器公司在八十年代初生产出1兆位磁泡存贮器并在向4兆位进军时，它突然宣布不再生产磁泡存贮器。国际商用机器公司曾发表过一系列关于磁泡存贮器的论文，但到了1981年它就守口如瓶了。而日本的磁泡存贮器的开发和生产方兴未艾，他们在八十年代初抛出1兆位的存贮器后，不久，又抛出了4兆位磁泡存贮器，一举抢在美国的前头。促使美国磁泡存贮器下马的主要原因，不是磁泡丧失了技术潜力，而是价格问题。只要磁泡的价格维持在每位0.5美分的水平，磁泡存贮器就是无利可图的，因为价格直接反映出成本。它的用途只能局限于国防和远程通信。0.5美分/位似乎是个微不足道的小数，但如果按这种价格来购买一个1兆位的存贮器，就得用上五千美元，如果买4兆位的存贮器，就得花上两万美金。这笔钱足以购买一台象样的小型计算机或数十台甚至上百台微处理机。

5-5 由微机到“危机”

六十年代发展起来的计算机时分服务系统曾为国防和科研作出过重要贡献。由一台中央大型计算机来连接几十个终端，为它们提供分时数据处理的能力；同时，又能使各终端共享存贮在分时系统中可贵的信息资源。在这以后，并行处理系统也变得时髦起来。并行处理的概念早已有之，五十年代的并行电子计算机中的中央处理单元就是由许多同时工作的逻辑元件组成的。随着微型机和微处理机的迅速发展，并行处理的概念就被运用于大型计算机系统。这样的系统由几台或几十台处理机构成，它们或被组织成“流水线”，或被组织成某种阵列，或只被一条共用数据通道联接成各自独立的单元。它们在一组指令或多组指令下实现多数据流的处理，或是完成系统软件给它们规定的不同的处理，或是完成相同的处理，不论在什么情况下，它们都在同时运行着。

发展分布式计算机系统是七十年代初的一个重要标志。随着大规模集成电路的发展和超大规模集

成电路的诞生，元件和单机的价格日益低廉。相比而言用于计算机网络的数据通信的费用反而超过了数据处理的费用。这一矛盾的转变带来了信息处理和信息存储概念的变革，使得计算机和数据库从集中走向了分散。从七十年代末以来，分布计算机系统和分布式数据库系统逐渐时髦起来。分布式结构提高了计算机系统的处理能力，扩大了系统资源的利用和共享，降低了数据通信的费用，同时缩短了实时控制的响应时间。

现在比较实用的分布式计算机系统有同等结构和分级结构两种。与其相应的分布式数据库系统则称为分区式数据库系统和复制式数据库系统。前一种结构没有中央计算机，分布在各地的处理机和数据库既能独立运行，又能与其他地区的处理机和数据库保持横向联系。后一系统有一中央计算机和数据库，在它周围有一系列的外围处理机和数据库，每一分级平面还可以有次分级。在这种系统中，各地区的计算机不能直接与其它地区的计算机联系，而必须通过中央计算机来联系。同等级水平系统结构特别适合于预订票的服务系统。就象预订机票的情况来说，如果选择在飞机班次最多的北京、上海和广州三地建立同等结构的分布式计算机网，在这

三地各设一台处理机和一个数据库，那么这三地旅客就可以在当地预订某日某班次的飞机票，他们的姓名，性别，年龄，工作单位以及所订的机票的日期、班次和座位都存储在当地的数据库中，无需另设一中央处理机和总数据库来统一处理和存储三个城市的预订机票的情况。由某城市预订另一城市的机票的情况毕竟是少数，当这种情况发生时，便可用网内通信的方法与另一城市取得联系，由那里的处理机和数据库处理和存储外地预订机票的信息。这样数既能充分满足旅客的要求，又能避免象集中处理和存储系统所造成网络通信费用的损失。

当然，这种系统并不是完美无缺的，一场灾难（如一场大火）就可以把某城市的数据库毁灭净尽，而别的地方并没有这个数据库的“复本”，数以千计的旅客对预订机票处所寄托的希望即会化为泡影，预订机票计算机信息业务的信誉必受到很大的影响。当然，这种损失远远不及银行丧失顾客存款的根据那样大。由于这种原因，银行所采用的分布式计算机网络就不会使用水平结构，而是使用等级或垂直结构，各地银行的处理机处理当地的业务，将用户帐目存储在自己的数据库中，同时又将这个帐目用通信报告给中央计算机。中央数据库存储有各

地帐目及有关业务信息，一旦地方数据失误，则可向中央数据库"复制"；一旦中央数据库失误，则可向各地数据库"复制"。当然，某一城市向顾客在另一城市提取或存储的事情也是有的，异地银行的数据库中并没有他的帐目情况，他们只有通过中央计算机来转告顾客的情况和转办存款或提款的业务。

随着计算机分布处理技术和数据库技术的发展，从七十年代以来产生了连锁的信息爆炸。信息爆炸推动了软件的发展，但同时却又引起了软件危机。"由微机到危机"的提法所指的正是软件危机。具体来说，随着硬件价格的迅速下降，计算机的应用日益广泛，导致了系统中软件费用的不断增加，有经验的软件人员日趋短缺。到目前，系统软件之值仍然超过硬件之值，对软件人员的需求仍然超过对硬件人员的需求。在有些计算机系统中，软件的价值竟占系统价值的90%，在一些复杂的程序中，每行程序竟值十美元。

软件的复杂性由简化硬件而始，然而这只不过是起因，导致软件危机的是计算机系统的广泛应用。在某种意义上，人跟计算机一样，每个人都有一定的思想和行为的准则，他们做每样事都有一定的方法和步骤。这些思想和行为准则，方法和步

骤，构成了人的“软件”。每个人又只是一个特定的社会系统中的一员，他的行为必须受到这个社会的法律、信仰和道德规范的约束。这些法律、信仰和道德规范可以称为人类社会的“系统软件”。计算机系统与人的社会系统一样，整个系统的软件把各个计算的硬件当作了该系统中的一个“部件”，它们起着预先规定各个非同步操作的硬件协同一致运行的作用。任何社会系统都比任何个人更为复杂，掌握整个计算机系统的软件工程当然也比任何计算机硬件复杂。软件危机跟社会危机一样，是历史的必然，但不是历史的终结。这个比喻也许能帮助我们理解为什么软件危机不单单是由简化硬件而产生的道理。

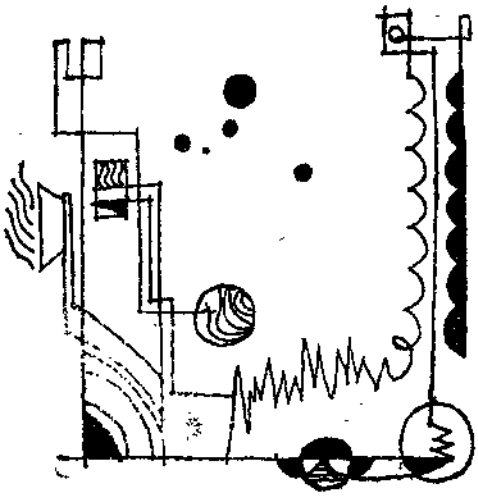
计算机科学是在开关理论的基础上诞生出来的。开关理论要求以最少的开关元件来实现最佳的操作。这种理论又建立在元件昂贵和连线廉价的价格关系的基础上。大规模集成电路和超大规模集成电路完全颠倒了这种价格关系，集成电路上的元件几乎是不花钱的，连线却成了唯一费钱的东西。此外，集成电路上的连线引起的时延往往超过了元件的时延。工程师们发现，集成电路上的逻辑门数最少的网络不能保证所占空间最小，也不能保证执行

任务所费的时间最短；而在集成电路上增加晶体管数目反而能够节省空间和时间。这一发现导致了计算机科学的变革，加速了计算机硬件的集成化。七十年代迅速发展起来的单芯片计算机和微处理机就是这种历史变革的深刻表现。

我们还必须看到，对开关理论的批判只解决了集成电路本身的速度和成本问题。在大多数情况下，计算机是由许多集成电路互连而成，这些连线便成了影响计算机速度、空间和成本的另一个重要问题。在大型计算机中，这些连线还是多如牛毛。具有丰富设计经验的克雷把连线层的厚度和散热问题列为两大主要问题。

第四代计算机的结构仍然没有超出“冯·诺伊曼计算机”的范畴。中央处理单元与随机存贮器用了一条“母线”相连。这根“母线”遵守规定的信号传输方法使数据一个接一个地传输而不发生干扰。这种“母线”结构很容易产生所谓“冯·诺伊曼阻塞”现象。假定有一台典型的计算机，它的存贮器由2048个同样的集成电路构成，每个集成电路都是一个128×128阵列，各存储有16K位信息，使存贮器的总容量为100万字（3200万位）。这个存贮器每次能读出2048位（即每个集成电路一次只能读出

一位），而这2048位中每次只能有32位通过“母线”传给中央处理单位。这样，在大型计算机中，每次存取的信息都有成千上万位是不能传走的。这无疑是信息的最大的浪费。从这种意义上来说，母线不是将中央处理单元和存贮器联接起来，而是把它们“隔开”。这就是所说的“冯·诺伊曼阻塞”。要解除这种阻塞对信息处理速度的影响，就得根本破除“冯·诺伊曼计算机”的结构。这在硬件方面是没有多少困难，因为超大规模集成电路的工艺技术能够将中央处理单元和存贮器集成在同一芯片上。我们可以将“母线”分散到各个功能元件上，信息从存贮器到处理器的传输距离可以降至毫米级以下的水平。但这样做牵涉到软件的困难。从七十年代末，工程师们已经开始努力将微程序固定在只读存贮器上，使软件固化。这样做虽然能减轻软件的负担，但还未显示出它的潜力。西方一些软件专家至今对微程序的固化是否能根本改善计算机结构和消除软件危机持有怀疑的态度。



第六章

新概念与新结构

6-1 信息与消费的结合

我们所说的消费，一般是指物质和能源的消费，以及为满足精神生活所作的开销。在电子器件中，消费类产品多指收音机、录音机、电唱机、电视唱片和唱机等。随着微电子技术和电信技术的迅速发展，一些国家的人民已经把获得信息列入消费生活的一项重要内容。这不仅是生活结构的大突破，而且也是意识和概念的大突破。

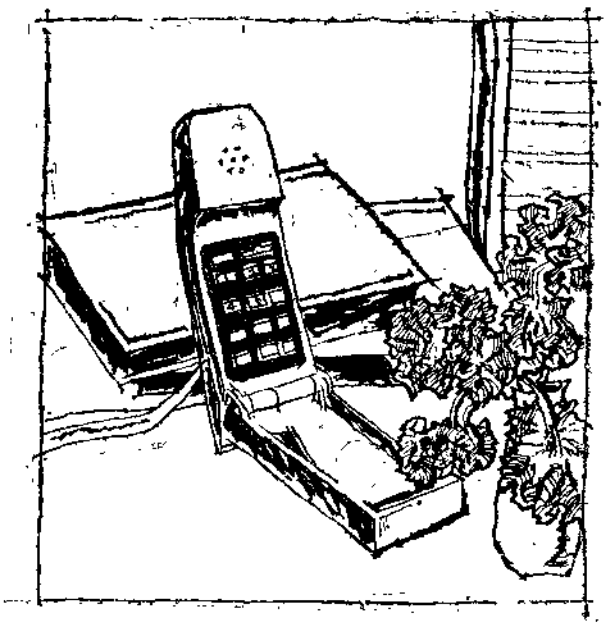
五十年代时，收音机是一项重要的消费类产品；六十至七十年代的主要消费类产品是电视机。那个时候音频和视频娱乐由广播台和电视台来安排，精神或文化生活是否充实，在很大程度上决定于节目程序，人们无法适时地获得自己的所需。这



消费电子公司在1978年生产的激光电视唱盘



美国无线电公司彩色电视录相机经过编程可以在连续七天中录制四个不同频道的电视节目



美国通用电话电子公司生产的微型电话

样的文娱活动多少带有点强迫性质或灌输的特点。电视唱片和唱机、录相机的出现，给人们有了较大的选择余地。视频玩具、电子象棋更增加了生活的乐趣。然而，人们还不满足于这样的文化生活水准，他们要求获得更多信息，要求分享宝贵的信息资源，希望能与其他人进行可视的对话。

自从七十年代以来，出现了将单一的娱乐、通信和信息处理逐步融合起来的趋势。这种综合的信息系统标志着作为分离的电子消费类产品的时代即将结束。电话、电视和微处理机通过通信电路与各种信息中心、数据库、商店、银行以及其他公共服务部门连接起来。人们越来越感到生活在一种无形的信息网络中。这种“无形”的信息网络却又是“可视”的，电视接收机是各用户不可或缺的基本部件。这是很自然的事情，因为人的视觉信息占各种输入信息的60～70%。听觉信息只占20%，其余是触觉、味觉和嗅觉信息(近年来有人发现人还有第六感觉——磁觉)。由于电视接收机成为信息网络的基本终端，它就不再单一是广播节目程序的从属设备，以“大众为宣传对象的电视”的概念正在被打破，“电视广播”一词即将过时。电视机用户将不仅是电视机的接收者，而且也是视频信息网络

的参与者；传统的电视工业即将被意义更为广泛的视频工业所取代。

我们这里所说的视频工业，是指包括音频信息在内的文字、数据和图象的信息传输、处理和存储的电信工业。目前的视频技术正在由模拟信号的传输加速过渡到数字信号的传输，并朝着使单独的电话通信、传真通信、用户电报（telex）、广播电视和数据通信统一为综合的通信系统的方向发展，其目标在于为人们提供以视觉信息为主的各种可能的通信服务。这样一种信息网络便称为综合服务数字网（ISDN），也有人（如日本人）称之为信息网络系统（INS）。

在视频工业中，最先向“广播电视”提出挑战的是电缆电视。虽然早期电缆电视也是单向的，但由于它是一种收费电视，广播复盖面积较小，节目程序安排较能符合用户的要求。1972年，美国联邦通信委员会开始指导安装双向电缆电视。双向电缆电视可以把用户与政府部门、医院、学校以及商业服务网点联系起来。例如，1977年瓦勒·阿迈克斯电缆通信有限公司与瓦勒通信有限公司和美国捷运公司在俄亥俄州哥仑布市联合开设的QUBE双向电缆电视系统，该系统使用三十个频道，其中十个

用于一般的电视广播，十个频道由用户付钱，按用户要求提供咨询，另外十个频道用来沟通政府部门、学校和医院。

八十年代以来，双向电缆电视与可视数据系统融合起来，使电缆电视工业得以更快地发展。截至1980年，美国的电缆电视用户普及率就达到了20%，两年后又上升到30%。这在西方来说还不算太高，普及率较高的有加拿大（50%）、荷兰（70%）和比利时（75%）。

在电缆电视之后出现了电文广播（Teletext）。所谓电文广播，是指用电视广播系统来发布文字信息。电文广播巧妙地利用了电视广播的场消隐期，将文字信息插在场与场之间暂短的消隐期内发射出来。这样做既不会与正常的广播相干扰，又不会多占频带而引起频道拥挤。不过，用户必须配一个专用解码器才能收到电文广播。电文广播是一种单向广播，只有电视台开始广播后，用户才能收到发出的文字信息。需要收看文字信息时，用户按下解码器上附加的键盘的某一号码，电视文字就可以在屏幕上显示出来。由于文字按页顺序发出，接收者在需要某页文字时只有等到这页文字发出的时候。电文广播的进一步发展，是在用户终端安装计

算机或微处理机，由计算机控制接收、存贮文字信息，过后用户再按需取出所要的文献。这样存贮下来的文字，就是我们通常所说的“电字杂志”或“电子书籍”。

电文广播源出英国。英国广播公司（BBC）的电文广播系统称为“Ceefax”，意为“看事实”（Seefacts），于1976年7月正式开发广播业务。英国独立广播公司的电文广播系统名叫“Oracle”，意为“编码新闻电子学字幕选择接收”，是从1975年开始实验广播的。这两种系统的制式是统一的：一页电文24行，每场发射两行，十二场发完一页文字。如果有一本100页这样电文“杂志”，将它广播出来只需要24秒的时间。任何人在24秒钟内都无法读完这100页的“杂志”，好在电视台连续反复发射这本杂志，每隔24秒钟又从头开始。“读者”尽可一页一页地读，当他读完第一页后，就敲下解码器键盘上对应于第二页的按扭，当电文循环到这一页时，这一页的内容就显示在屏幕上静止不动，直到“读者”敲下另一个按扭为止。

属于电文广播的还有法国的Antiope系统，于1979年10月正式开始广播；瑞典的Text—TV系统，于1980年开始广播；美国洛杉矶电文广播试验

系统，于1981年4月开始广播；等等。电文广播是不完善的信息传输方式，它的重要缺陷是单向性，用户无法根据自己的愿望获得广播系统以外的信息，况且它还仅限于文字广播。在七十年代末问世的可视数据检索系统 Videotex 显示出更大的优越性。这种系统通常又称为Viewdata，它的中文翻译仍然是“可视数据检索系统”。这种系统由计算机、电话系统、电视机、电话机、可视数据附加器（如调制解调器）、键盘等组成，计算机采取时分处理操作。由于这是双向信息系统，用户可以通过通信线路向中央计算机或数据库索取信息。数据库又分通用和专用两种。处于这类系统中的用户可取多少信息，取决于存储在各数据库中的信息总量。一般说来，用户能够进行诸如飞机时刻表、字典、百科全书、杂志文献索引的检索。如果这种系统还将超级市场、地方银行、医院或卫生保健单位作为一种信息中心纳入，用户还可以进行商品了解、电子购货、电子转帐以及获得医疗卫生知识等项“家庭活动”。

可视数据检索系统也最早源出英国。英国在1979年就开始将可视数据系统用于商业服务，给它取名为prestel，为Press Telephone（按键电话）的

缩写。该系统的用户以商业为主，在四千家用户中就有三千五百家是商店或服务点，只有五百家属于私人用户。

1980年底，法国邮电部在巴黎近郊的维利兹的商业和居民稠密区开始试行代号为Teletel的双向可视数据系统，该系统拥有三千个终端，每个终端都有存贮器，以每页两千比特的密度存储取自信息中心的数据。另外，法国还开办了一个小型的“电子电话号码检索”系统，其目的要取代电话号码本，使用户通过终端向电话号码数据库检出全国各地用户的电话号码。法国政府比较重视电信工业，早在1979年它就宣布，要尽快改善国内的电信系统，把电信工业列为国家第七个经济建设的重点项目，投资1044亿法郎。截至八十年代初，法国已具有2000万条电话线，平均8个用户中就有一个用户拿起电话机能与世界各地直接通话。法国政府还颁布工业法，要求在1987年实现电话的全数字化。他们这项工程的代号是Telematique。现在，他们正在电文广播和可视数据系统的基础上，利用一切可利用的先进技术，争取在1987年在全国范围内建立声音、文字、数据和图象传输的综合数据网络。

属于可视数据系统的，另外还有日本的Capt-

ain系统（文字图形电话信息网系统），于1979年12月开始启用；有西德的“屏幕文字”（Bildschirm-text）系统，于1980在杜塞尔多夫和柏林进行现场试验，具有三千个终端；有加拿大的“特利顿”系统和加拿大贝尔电话公司的“维斯塔”系统；等等。

信息的价值既决定于信息的内容又决定于信息获得的速度。所得非所需，自然有损于信息的价值，而姗姗来迟的信息完全会把它的价值丧失尽净。所谓信息量为零的通俗意义也大部存在于此。为了增加信息量和提高信息的可用性，就必须尽量扩大综合数字信息网络的复盖范围。截止八十年代初，美国、西欧和日本的单向和双向的信息网络已有五十余个，一般说来它们都是为了满足特殊需要而设置的服务范围狭窄、覆盖空间较小的通信网。用户所能提取的音频和视频的知识和情报受网络的局限。由于这种原因，技术发达国家相继把八十年代当作实现全国范围内综合服务数字通信的战略年代，并准备尽快向国际综合服务数字通信的方法过渡。美国从1981年开始了综合服务数字网络（ISDN）的十年计划。日本也决定在2000年前建立以光纤数字通信为基础的全国信息网络系统（INS），并在1982年投资5亿日元在东京西郊三鹰地建立了一个

试验系统。英国电信局也争取在1986年在三十个城市首先实现综合服务数字网络通信。1983年在伦敦进行了试验，翌年，伦敦的数字综合服务网就扩大到伯明翰和曼彻斯特。

6-2 天上地下金三角

现在的困难是，随着双向系统的扩展，通信的价格或费用跟着上涨。拿美国的情况来说，并不是每个用户都乐意支付每月30美元的通信费，通信网络的扩展还得要求用户承担更多的费用。对于单向的信息网络，则有另一层困难，这种网络多以无线电波来给用户提供信息，地域条件即给这种网络的覆盖面积规定了一个极限。高山、大湖、森林均是无线电波传输的障碍。现在即便在西欧都还有10%的面积是视频信号无法光顾的。鉴于这些情况，西方各国对卫星通信寄予了极大希望。它们正努力使用各种手段，充分发挥22,300英里上空的100颗通信卫星的作用，开展各项通信活动。我们知道，在地球赤道上空轨道只要有三颗等距离的通信卫星，就能把信息散布于世界各地。这无疑是最为经济的

方法。有人将通信卫星系统形象称为天地间的“金三角”。

1976年是美国独立两百周年，也是第一颗国际通信卫星发射后的第十一个年头。这颗被称为“早到者”的卫星完结了它的历史使命，它的八个后继者相继进入赤道上空与地球同步旋转，发射500条电信通路将八十个国家的150个地面站纵横交错地联系起来。国际通信卫星是“国际通信卫星组织”发射和共管的卫星，该组织由最先的11个发起国发展到1976年的95个国家，到1982年又增加为106个国家。该组织各成员国按使用通信卫星信路的多寡来分摊研制和维护费用，比例由0.05%到31%不等，美国分摊最大的比例。截止1976年各国共投资了六亿五千万美元。地面站系统的营造和维修费是由各国自己支付，这项费用也达到了七亿五千万美元。国际通信卫星开始时使用6/4千兆赫兹的频率，从1976年后发射的国际通信卫星采用500兆赫兹的宽带，工作在14/11千兆赫兹的范围，如七十年代末发射的国际通信卫星 Intelsat 4。由于信道日益增多，频道拥塞，国际通信卫星将使用30/20千兆赫兹。然而，由于气候（特别是湿热带的气候）严重衰减30/20千兆赫兹的信号，这个频谱将只适合于

高密度信息流的北美、西欧和日本等地，而原来的6/4千兆赫兹的频谱仍留给处于南、北回归线以内的国家和地区。

七十年代出现了发展国内通信卫星系统的趋势。加拿大在1972年发射了它的第一颗电信卫星“安尼克”，到了1976年，它的电信卫星达到三颗，供国内50个地面站使用。美国这时已形成了三大国内通信卫星系统：（1）由西方联盟公司发射的“西方星”（Westar）系统，“西方星1”于1974年发射，位于西经98度的赤道上空。（2）由美国无线电公司发射的通信卫星（Satcom）系统，“通信卫星1”于1975年底发射，处于西经136度的赤道上空。（3）由美国电话电报公司和通用电话电子公司（GTE）联合发射的“通信星”（Comstar）系统，“通信星1”于1976年7月发射，位于西经128度的赤道上空。

西欧各国多数采取联合发射通信卫星的方法。如欧洲宇空局（ESA）在1976年发射“轨道试验卫星”（OTS），它处于东经10度的上空。近来，英国、西德、法国和意大利诸国的电视会议就是通过这颗卫星来实现的。又如，西德和法国联合发射的“交响乐”卫星，它处于东经49度的上空，其覆

盖面积主要不是西欧，而是中东。

专业通信卫星系统在七十年代下半叶开始发展起来。如美国通信卫星公司在1976年发射的海洋卫星，它处于东经177度的太平洋上空，用于沟通航行在太平洋的船只与美国和日本的陆地站的联系。其他国家的船只航行在太平洋上时也通过它来取得联系。英国已有70艘海船登记使用这颗海洋卫星。这些船如要与英国本土通信，先得与美国有关陆地站联络，然后将信息通过大西洋海底电缆送到英国；反过来也是如此。欧洲宇空局也发射了两颗海洋通信卫星Marecs，一颗位于西经10度大西洋上空，另一颗位于东经40度的上空，照顾着红海、阿拉伯湾和非洲东海岸。由于这两颗卫星处于重要战略位置，国际海洋卫星组织（Inmarsat）向欧洲宇空局长期租用了它们。

对于发展中的中、小国家，依靠国际通信卫星组织来发展卫星通信是一条重要途径。它们暂时还没有力量发射自己的卫星，但可以依靠国际通信卫星来发射本国的转发器或电信平台。巴西、挪威、阿尔及利亚、尼日利亚等国早在1976年就用这种方法来建立了国内的卫星通信系统。

1980年10月，美国发射了第一颗全数字网络的

通信卫星——“商业系统卫星”（SBS），打开了卫星通信史上新的一页。

进入八十年代以来，卫星通信的应用越来越多样化，有的用来进行视频教学；有的用来开展政府部门的通信；有的用于卫生保健的咨询服务。如美国“大克利夫兰医院协会”用美国无线电公司的“通信卫星1”来给各地医院提供帮助，每个病人每天付两美分的费用就能获得医疗卫生知识。又如，美国“电缆卫星公务网”用这颗通信卫星把众议院数百个终端联系起来。

在所有通信卫星的应用中，“电视会议”是算最热门的课题。能源日益枯竭，信息资源就日益显得可贵。坐飞机旅行风和参加国际会议热已在逐步减弱，人们开始崇尚新的生活概念，创造新的工作作风，视频电话和卫星电视会议在八十年代风行起来。跨国公司的经理们或高级雇员，坐在电视会议室的摇椅上，面对镶在墙上的屏幕跟远在大西洋彼岸或太平洋彼岸的同僚们交谈。立体视和立体声摄、放装置，或装在天花板上，或作为一种壁饰镶在墙上。宽敞、明亮、舒适和效率交织在一起，工程师们无需远渡或飞越重洋，仅在几十分钟可视会谈中就解决了以往数日或数星期才能解决的问题。美国在1978年曾

对企业对电视会议的反响进行了一次代号为“工程序幕”的研究，发现在被抽查的洛克维尔国际公司等四个公司的1476名雇员中，赞成推行电视会议的人数占54%。这些人均认为电视会议节省时间，节省能源，能免除旅行所带来的一切麻烦，并能及时地作出决策。美国无线电公司和日本电话电报公司、国际电话电报公司和西门子公司都是目前推行卫星电视会议的大公司。截至1980年底，国际电话电报公司已在21个国家建立地面站，可用60个地面卫星终端来开展电视会议。根据美国宇航局的预测：在1990年，卫星电视会议将是卫星通信中一项大宗业务，为满足日益增长的需要，还必须释放1960个40兆赫兹带宽的转发器或通信平台。这些平台将由航天飞机运送到确定的轨道的位置。到2000年时，通信卫星将增加到两百个，卫星电视广播信道140条。

进入八十年代以来，电视的卫星直接广播(DBS)是一项引人注目的开拓项目。用户在自己的楼房上装一个口径为90厘米的盘形抛物面天线就能直接接收卫星转发的电视节目。这种广播系统的覆盖率可达99%，对于人口稠密的平原国家和人口稀疏的山区国家（如挪威）来说，均能各得其所。卫星

直接广播还能进一步打破狭隘的民族观念，促进文化的交流，一个国家发射的电视节目能够为其邻国所接收，处于西欧腹心地带的国家受益不浅，如卢森堡公国的居民，不仅能收到西德、法国的电视，而且也能收到荷兰和意大利的电视节目。与西欧大陆各国相比，英国地处英吉利海峡以西，它只能收到法国和爱尔兰的电视，在那里电视重叠指数较低。另外，英国的地势不论较法国、瑞士，还是较北欧诸国，都还比较平坦，它的传统的电视广播的覆盖率已经超过了这些地区和国家。由于这种原因，英国政府对电视的卫星直接广播未能表示出如同其他西欧国家的那种热情。这里不存在技术上的困难，但却牵涉到文化的传统、人民的反响及政府的政策等方面的社会问题。英国在一千多年来一直依靠军舰保持着它的大一统社会，在第二次世界大战中又用雷达来保卫了它的国土和人民；然而，它在八十年代却受到了卫星直接广播的挑战。历史将证明，这种挑战是善意的，它将进一步使英国的文化与世界文化融合。

6-3 奔向第五代

现在，数据处理几乎已成了计算机的代名词。历史将使数据处理概念变得简单而又陈旧起来。人们预料九十年代将是“知识处理”的年代。知识处理将与第五代计算机同时出现。日本信息处理开发中心在1981年公布了日本研制第五代计算机的战略文件，世界为之一动。第五代电子计算机将与前四代电子计算机不同，它具有存储知识，分析、判断和推理的能力，并且有语言、图形、图象处理和多种智能的人—机接口的特殊本领。日本的这份战略文件指出：“为了增加计算机的智能，使之成为人类更为顺从的合作者，必须以某种方法提供这样一种计算机，它不仅拥有与特殊应用领域相关的知识，而且兼有适用于这种知识的不同技术。与此同时，它还应具有联想、推想、学习等其他能力。理想的情况是，这种系统能够根据自己的知识，在判断尚未给出有关指令的问题时自动作出正确的判断”。日本人的具体做法是，在人与第四代计算机之间增设“以解题、推理以及知识库等为基础的强

有力的解题机构”。

1981年10月19日至22日，日本在东京主办了第五代计算机系统国际会议，出席会议有日本214名代表，还有来自美、英、法、西德、印度和中国等十几个国家的86名代表。美国、英国及其他西方主要国家对日本人提出的第五代计算研究计划作出了积极反响。1982年，英国政府委托英国电讯局技术董事阿尔维（Sohn Alvey）组织“阿尔维委员会”来领导第五代计算机的研制，并投资了4.48亿美元。参加这项工程的有15家公司和24所大学。阿尔维委员会已经组织力量在软件工程、人—机接口技术、知识库系统和超大规模集成电路四个方面展开了工作。他们雄心勃勃，力争赶在日本之前拿出第五代计算机的样机。

第五代计算机肯定是非诺伊曼型计算机。诺伊曼型计算机也就是我们通常所说的“存储程序二进式数字计算机”。第五代计算机将在什么样的基础上建造出来，现在尚不清楚。既然第五代计算具有运用知识进行推理判断的能力，它必须具有人的某些特点。一些计算机科学家就对“人”这“万能计算机”进行了分析，发现人的确是一台“程序自创式、计数式、数字模拟思考机”。这三

个特点中的第一点的含义无需解释。那么什么是“计数式”呢？生理学家们发现，人接收信息的方式既是数字式的，却又不遵循二进制和十进制的原理。因为人的感官神经发出的电脉冲的数目与感官所接受的刺激强度的对数成正比．这种模拟信号与数字信号的相互转换就根本不会遵循任何确定位进制的法则，而只能遵循计数的法则。这就是著名的韦伯—费希内尔法则。人的这种计数式信息转换的可靠性极高。假如感官所接受的某一刺激产生一万个电脉冲，在他们传到大脑这部中央处理机的传输过程中不管丢失哪个脉冲，引起的误差只是万分之一。但如果在一部十进制的计算机上，这一万个脉冲可以变成10，000这样一个五位数，假若丢失了左边的一位，误差准是100%。由于计数式的这种优点，研究第五代计算机的科学家们很希望将人的这种能力移植到计算机中去。

人的模拟数字思考能力也在科学家进行的人—机“移植”的努力范围中。人总在批评自己记忆经常发生错误，但却不知道人的记忆能力要比计算机大许多倍。这种说法似乎不可置信，但事实毕竟是事实。我们不妨拿人的模式识别和计算机的模式识别作个比较。对一张图象，我们可以把它上下分为

625行（如电视扫描线），每行取800个样，每个样再进行量化，取其8位。这就必须有$8\times800\times625=4\times10^6$位的信息量才能表示出这张图画。一般的计算机内存储量不够对一张图象进行直接存取和处理，而必须借助于磁带和磁盘。让人来识别这张图象，简直是易如反掌的事情。人脑可以跟照相或磁带录相那样，将这种模拟的信号原封不动拍下来，过了一段时间再拿出这张图象，总还能把它识别出来。判别一台计算机的识别能力，是根据机器的存贮器的容量。科学家也已发现，人的模拟记忆的存贮量已达到1京（10^{16}位），这是指短期记忆；人对数字信息的记忆的存储量的上限，也有10^{10}—10^{12}位，这种容量也只有计算机的外存贮器才能达到。这是令人自身感到惊奇不已的一个现象。使人自身不能理解的另一个问题，是人对外界信息的模拟—数字转换异常迅速。第五代计算机所需要的正是人的这种与外界接口的能力。当然，人的这种能力不可能很快地“移植”到未来的第五代计算机上，但是可以期望，对人自身的研究将有助于模式识别，人工智能将取得突破性进展。

前一段时间人们对于低温超导计算机谈论得很

热烈，希望有朝一日能用这种超高速低能耗的计算机来取代现在的计算机。美国国际商业机器公司在研究约瑟夫森超导计算机方面曾取得突破性的进展。然而，由于这种超导计算机必须放在绝对温度4°K以下的液态氦中才能工作，这是一个很不实际的问题。加上在检修故障和改变输入、输出接口时，必须使系统回到常温，这种反复冷却、膨胀将因各种材料热胀系数不同而造成机器的破坏，这就在技术上为实现低温超导计算机的商用化增加了新的障碍。从目前现况看来，要制造出能使广大用户乐意接受的超导计算机还要走很长的路程。

现在人们热烈谈论的另一类计算机，是分子计算机。分子计算机已不再是什么科学的幻想，美国、日本和苏联都相继开始了这方面的研究。科学家们提出了许多设想，实施了不少方案，他们已把主要力量集中在研究生物分子或有机分子“开关”和研制具有图形识别能力的蛋白质传感器等几个方面。他们已在自然界中发现一些具有“开”“闭”性能的分子，并在实验室里加以合成。例如，美国海军研究实验室的科学家将紧密共轭的链分子（如聚乙炔、大环化合物等）加工成双稳态的分子主体。如何将这些分子元件相互叠积成高密度三维分子集成电

路，是一个急待解决的问题。有人建议用遗传工程的方法使成年细菌产生一种蛋白质骨架，把分子开关主体附在该骨架上。如果这种分子集成电路能够做成，它们的集成度将比现在最高密度的256K半导体存贮器的集成度提高几个数量级。美国海军早在五十年代末就提出了分子工程科研项目，在当时只不过被视为无稽之谈，特别在半导体集成电路诞生之后，人们就根本把它忘却了。预计十年后，分子计算机的研制将取得突破性进展，到那时，人们对于分子工程的理解将达到我们现在对半导体集成电路理解的水平。

6-4 罗伯特制造罗伯特

在人类的工具库中有三类机器：动力机、工作机和计算机。它们分别处理三类不同的对象，完成各自的职能。

自从瓦特改造纽康门原始蒸汽机以后，人们学会了使用煤作燃料，停止了大肆砍伐森林的活动，农业、牧业和工业也第一次奇妙地配合了起来，英国的羊毛，西欧和非洲的棉花被用来生产毛纺品和

棉纺品。毛、棉纺织工业促使机器制造业迅速成为一门独立的工业。1800年莫斯莱（H.Maudslay）金属车床的发明，1818年惠特尼（E.Whitney）铣床的出现，以及1870年斯潘塞（C.Spencer）自动机床的问世，都是这一工业的重要里程碑。动力机和工作机扩展了人的操作能力，弥补了肌肉力量的局限。因此可以说，18—19世纪的工业革命第一次大规模地解放了人类的体力。计算机基本上是本世纪的产物，现代的大型计算机已经达到每秒数百万次、数千万次甚至数亿次的运算能力，为人们担负繁重的运算工作，帮助解决复杂的数字处理和工业的适时控制，它甚至将人的一些直觉形式表示成数字逻辑的模式。因此可以说，二十世纪是人的智力扩张的世纪。

现在出现一些新事物好象不完全遵循上述的分类法。一般说来，不论是工作机还是动力机，都牵涉有机械运动。太阳能电池没有可动的机械部分，但它却起着能量转换的作用，它是否属于动力机的范畴？机器人不仅是产品的生产者，而且也是一种特殊的信息反馈、传递、处理和存储的单元，它究竟属于工作机还是属于计算机？都不是！机器人无疑是人类工具箱中既不属于第二者也不属于第

三者的独立的工具。

机器人的洋名是“罗伯特”（robot），它是取自捷克语robotnik，原意是奴隶或工人。“罗伯特”一词最初出现于剧作家卡皮克（Karel Capek）1920年的一部剧本——R.U.R.它是一部幻想作品，作者根据工厂工人的各种重复动作塑造出一种机器，既控诉了把人当机器的社会，也包含有用会自动作工的机器来解放工人的积极愿望。到了五十年代，“罗伯特”一词便大量出现于阿西莫夫（Isaac Asimov）的科幻小说里。自从那时开始，“罗伯特”便成了机器人的代名词，使牛津字典上的“机器人”的古字android失去了用场。

机器人诞生于五十年代。美国最早用机器人来处理含有放射性物质的废料。当时的机器人实际上是无线电遥控的机械手。1960年，美国休斯飞机公司为美国原子能委员会（AEC）制造出一台可运动的遥控操作机器人，它具有“视觉”、“听觉”。所谓“视觉”是用电视来实现的，“听觉”器官是装在手臂上的麦克风。这类感觉均不属现代的模式识别范畴。这台机器人当时被称为“莫伯特”（mobot）。

作为商品的机器人，出现于1959年。美国行星公

司最先推出用电子线路和凸轮编程和控制的完成拾一放功能的机器人。这是一种非数控型无伺服控制的机器人，不妨称之为第一代机器人。第二代机器人具有组合逻辑电路，属于早期数控机器人。它是由万能机器公司在1960年引进的。第三代机器人是由小型计算机控制的机器人，是辛辛那提毫微公司在1974年引进的，称为T_3机器人系统。随着微处理机的迅速发展，第四代机器人很快就打入了市场。七十年代末至八十年代初的机器人主要用8位微处理机来控制，近年来16位微处理机已用于机器人系统。将来第五代机器人——人工智能机器人将普遍使用32位微处理机。

七十年代美国机器人的数目大约平均三年翻一番，1974年是1200台，1977年正在使用的就增加到2,400台，到了1974年，工业机器人就达到了4,700台。美国通用汽车公司是最大的生产者，也是最大的使用者。截至1981年1月，它已在自己的工厂里装备了300台，到了1982年中，装备总数激增至1,600台。美国通用电气公司（GE）是另一个主要的机器人生产和使用的公司。1979年，在它的工厂里已有70台机器人代替工人操作，1981年底达到200台。

日本经美国专利转让在1969年开始生产机器人。虽然它起步比美国晚了十年，但在八十年代就变成了机器人的最大生产国。它在1980年生产了3,200台，超过了美国的1，269台，其安机台数达11,256台，也超过了美国的1,4200台。据日本工业机器人协会预测，1985年机器人的产量将是1980年的十倍，即32,000台；1990年的产量将是1985年的17倍，将达57,500台。截至1981年，日本已有140家公司从事机器人生产，其数目还在逐月增加。日本的一些地方已用机器人取代了工人，出现了许多无人车间，无人工厂。机器人将形成一个特殊的蓝领工人队伍，对产业和社会产生日益深刻的影响。日本现拥有一亿多人口，约为美国人口的二分之一。而其面积仅37万平方公里，才是美国的二十五分之一。按这样计算，日本的人口密度12.5倍于美国。人们不明白为什么这样一个人口密度最大的国家要把机器人工业放在如此突出的地位。实际上，日本产业的战略是夺取世界的产品市场和夺取世界的资源，要使日本变成世界上最庞大的加工厂。它首先把具有两亿人口和九百三十五万平方公里面积的美国当作它的第一大市场，把西欧当作第二大市场。由于日本工业全面向世界市场渗透，它

的劳动力显然是不够用的。机器人的出现没有引起失业，只是引起了产业结构的变革。日本的钢铁工业和汽车工业之所以在八十年代初超过了美国，除先进的管理制度，现代化技术和新材料、新工艺等因素外，还由于机器人所发挥的作用。日本富士通法努克有限公司在1982年已经达到月产一百台机器人的水平，他们仍感到供不应求，现在就进入了由机器人生产机器人的高级阶段。从1981年起，日本通产省投资五千七百万美元来制造所谓“灵活制造系统”机器人，这类机器人将几个为一组，用于完成一道工序。它们能够相互配合，在计算机的程序下统一操作，反复连续地运行。它们除能参加制造，还能担负产品检验，流程监视等项职能，起着某种“准白领工人”的作用。这类机器虽然仍属于第四代机器人的范围，但它们的传感器和伺服机构都达到了目前最高水平。未来的人工智能机器人将在这类机器人的基础上配上高级模式识别，实现人与机器人之间的文字和语言的接口。

世界上第三大机器人生产国是苏联。苏联从1971年开始生产机器人，其后便以每年50%的增长率生产机器人，截至1981年，它的程序机器人数目已达到2000～3000台。西德的机器人数量名列第

四，1981年它已拥有1400台。法国也是从七十年代才开始生产机器人的，他们要挤进世界市场，密特朗政府已投资20亿美元。这是一笔巨额投资，等于法国1981年国防预算的十分之一。有人对机器人的数目进行过精确统计，截至1982年1月底，全世界机器人为26,942台，预计1985年要达到十万，1990年要达到 325,000 台，这近似等于卢森堡公国的人口（335,000人）。九十年代机器人口的增长率还会更高，因为那时不仅人制造“罗伯特”，而且“罗伯特”也在制造“罗伯特”，到2000年时，“罗伯特家族”很可能达到现在的爱尔兰人口数目三百二十万。

随着人工智能机器人即将产生，随着“罗伯特家族”日益兴旺，不免引起一定的社会反响，甚至引起一些人的恐慌。人类已从两手空空发展到掌握足以毁灭自己的武器的程度。先人产生了今人，今人却制造武器来毁灭自己的子孙。这到底是人毁灭自身还是武器毁灭人类？答案是清楚的，如果人类的理智不足从抵制毁灭人类的武器继续发展的话，结果将是人类的自己毁灭，而不是武器毁灭人类。机器人似乎与武器不同，它们将是一类有智能的工具。近期内人可以将机器人送入低空轨道，在那里

开办无人宇宙工厂，九十年代还会将机器人送上月球，让它们在那里提取材料“繁衍”后代，并为人类制造在地球上无法制造的产品，或为将来的宇空旅行家提供住、食条件。问题就在这里产生了。既然月球上的“罗伯特家族”能够“繁衍”，开始时它们会按几何级数关系增长，随后就按一种低于几何级数增长的模式继续发展，如按照皮尔（Raymond Pearl）的人口增长率方程

$$N(t) = N(1 + ae^{-kt})^{-1}$$

来发展。此处N是受资源条件限制的人口上限，k是人口的产生率（不是增长率）。按照这样的增长率，月球上的资源到某一时候也会不够旺盛的“罗伯特家族”使用，它们可能返回地球，其结果如何，现在无法预见。这里所说虽有点背离现在的常理，但却绝非纯属科幻。因为将来送往月球上的机器人必须具有以下四个基本功能。

（1）必须具备提炼月球材料的能力（包括从死的罗伯特身上回收材料的能力）；

（2）必须具备将这些材料用来生产罗伯特各个器官或功能部件的能力；

（3）必须具备将这些器官或功能部件装配成新一代罗伯特的能力；

（4）必须具有逐步改善或完善各种功能的能力。

这些功能都是在地球上先编好程序随首批机器人带到月球上去的。它们至少是可编程机器人。

哲学家们从来就反对把机器人放在与人一样的高度。因为他们认为，人之所以具有最高的智慧是由于人具有非逻辑形式的直觉；而机器人又具有逻辑功能，不论再复杂的操作，都是由0和1两种状态组合成的机器语言来实现。然而，现代心理学家实验还未提供有力的证据来证明人的直觉可以超越逻辑的形式系统。这样一来，任何智能看来都是由一系列相互联系的等级不同的信息操作组成，这个范围由最低级的机器语言到较高一级的由语法或句法掌握文字和数字的操作，再到更高一级的符号或概念的阶段，循此下去就能达到“自知”形式这个最高信息水平。“智能”所反映的无外乎是数据和符号在这些信息水平之间的来回运动。但是，这个信息阶梯中最高层次——“自知”或符号操作或概念运动，却不能了解其自身，以至往往以“直觉”的形式出现。从理论上讲，这是正常的现象。哥德尔（Kurt Gödel）在1931年提出的不完全性定理能够解释这个令人困惑的问题。哥德尔的不完全性定

理是说：一致性和完全性是不相容的，因为在完全一致的形式系统中，必然存在不完全性，存在该系统不能决定的假设。更明确地说，每个形式系统包含一个可以证明为真的陈述的集合和一个能证明不为真的陈述的集合，但也还含有不能为本系统所证明为真还是不为真的陈述。这虽然是条数学定理，但是可以用来解释人具有直觉而又不能用天才的直觉认识直觉的逻辑形式。

这是一个重要的哲学问题，也是一个重要的社会问题。在哲学领域它属于认识论的范畴，它牵涉到人对自身认识的最难的阶段。在社会与技术关系方面，它涉及对机器人的认识。人与机器人之间可能有的关系无外乎有四种：人造罗伯特、人造人、罗伯特造罗伯特以及罗伯特造人。前三种关系亦已证明为真，而后一种关系尚无法证实或证伪，或许在一百年后仍然无法做到这一点。但无论如何，只要人的直觉属于逻辑系统的范畴，我们就没有理由轻率地否定以逻辑系统为中枢的机器人可以由低级智能到高级智能逐步发展到接近人的智能的水平。

不过，机器人在现在引起的社会问题，更多是机器人是否会造成失业。日本目前的情况否定了这种可能。现在西方特别是美国大力推行将机器人用

于极端条件，用于开发空间、海洋和能源的政策，更进一步解除了人们的忧虑。

自从1973年世界能源危机以来，美国强调开发国内的煤源。美国的煤矿工业才有两百多年的历史，它的煤产量在第一次世界大战中达到第一个高峰，平均年产为8亿吨。之后，它的煤矿工业持续下降，原因在于美国人普遍反对这个无人道的工业，一些州相继立法禁止新开矿井。美国的煤井事故在西方来说是较低的，但在六十年代，事故伤亡率仍然不低于每万人中200～300人。矿井陷落所造成的伤亡竟达全部事故伤亡人数的45%。七十年代前美国的煤矿产量主要出自东部和中西部地区，特别出自阿巴拉契亚山脉皮德蒙特山区的矿井。七十年代以来，美国就着力开发西海岸的露天煤矿，达就使美国的煤产量增至1977年的8.89亿吨，超过了第一次世界大战时的水平。尽管如此，美国工业还是乐意使用皮德蒙特山区矿井的优质煤矿。鉴于这种情况，美国煤碳局决定用机器人代替工人下井采煤，并打算在近期内使用一万台机器人来代替50%的矿井工人。这一行动已经受到普遍的赞扬。

用机器人开发太空也是目前的一个重要课题。1962年，“航海家1号”飞越金星时，用了第一个

太空机器人来收集金星大气的数据。1967年，“勘探者3号”登上月球后，放出一个具有一臂一爪的机器人来收集月球土壤。这两个机器人都是遥控机器人，通过地球发来的指令进行操作。电磁波发到月球需要两秒钟，遥控机器人不属实时操作的类型。如果考虑更远的地方，如考虑冥王星，电磁信号到达那里需要大约一小时的时间，遥控机器人无法适用于这样的远层空间。实时操作的“自治”机器人就诞生了，这类机器只需获得地球的一个原发指令，随后就自动操作和决策。1976年，“海盗2号”在火星上着陆后使用了这样的机器人。

自从1982年后，美国宇航局开始推迟对外层空间探索，如原定1981年发射的“伽利略”飞船被推迟到1985年，原定1985年发射的“火星海盗船”（Mars Rover）被推迟到1992年。科学家们认识到，与其花费巨额经费来探索暂且对人类还无意义的外空，还不如集中力量来开拓与人类密切相关的地球轨道。现在地球赤道上空轨道上已有100颗通信卫星。按照现在使用的14/12千兆赫兹频率的要求，两颗相邻卫星的距离不能小于4°～5°，现在的卫星超过了这个标准。就按将来使用的30/20千兆赫兹来说，相邻卫星的间隔也不能小于1°。二十年

后，通信卫星的数目也很可能打破这个要求。这样就提出了地球空间轨道管理或调整的问题。另外，卫星的老化又提出了卫星的复修课题。解决这些问题的最好途径，是将机器人发射到内层轨道上去，让它们代替人类完成这些使命。美国宇航局哥达德宇空飞行中心正在研究如何建立“飞船湾”，这种飞船湾将起着类似于海港的作用，它由一个机器人拆一装系统和一个捕获释放机构组成。机器人在那里完成修理卫星的任务。

机器人还可用于建立太空工厂，一些要求超真空、超纯度的产品，如医药和集成电路，可以在那里生产。另外，用机器人建立太空太阳能电站、大型宇宙望远镜，都具有很大的前景，用机器人在月球上提炼地球上稀有金属，并制造出成品再由飞船载回地球，也已经引起人们的兴趣。

机器人海底探矿又是一个诱人的课题。美国圣巴巴拉（Santa Barbara）海港、中国南海、英国北海、西非沿海、墨西哥湾和印度尼西亚群岛，都蕴藏有丰富石油。大西洋还有极为丰富的锰结核矿，估计其蕴藏量是大陆上的五倍。美国、苏联、日本和法国都已派出机器人下海探矿，并已获得大陆架探矿经验。预计在不久的将来，机器人不仅能

完成大面积海底探矿工作，而且可以用来开采海底矿藏资源。

机器人工业在健康发展，但也有不好的征兆，有些国家正在研究将机器人用于战场，预计2000年机器人可用来作战。如果说机器会伤人甚至毁灭人类的话，首先不是由于机器人将会发展到具有高度智能，而首先是由于人类自身中存在的非理智的因素。

6-5 通向未来的信道

自从19世纪以来，电通信已经成了一个根深蒂固的概念，凡是索涉到通信的手段，大凡都要带上一个电字，如电报、电话、无线电、微波电话，等等。在六十年代，随着激光器的出现，科学家们开始努力寻找新的通信方法，七十年代激光技术便在通信领域打开了一个新的窗口，给我们增加了一个光通信的概念。进入八十年代后，光纤通信已经遍及世界各地。激光通信正在逐步取代传统的电通信技术，未来沟通东方和西方的“丝路”——大西洋海底光缆和太平洋海底光缆，把人们的眼光引向了

激动人心的1988年、1990年和2000年。

光和电本来属于一个家族，麦克斯韦早在一百二十年前就从理论上证明了光是波长极短的电磁波，赫兹在1888年已用实验证明了光波和电磁波的同一性。请读者注意，从1888年到将来大西洋光缆铺成的1988年，是整整一个世纪。1988年将是开拓全球性光通信的一年，是打开新一百年的一年。

如果说光通信是一个新的概念的话，那么它却也是一个被人们遗忘的老概念。造成这种忘却不是由于科学，而是由于技术，由于技术较早地为电通信创造了足够的条件。贝尔在1876年发明电话后，在1880年又发明了一种“光电话”，成功地将光线作为信息的载体。在贝尔“光电话机”中，有一束聚焦的光线落在一块平面镜上，声音使平面镜振动而偏转，使反射出的光线随声强改变方向，再落到一块硒光电器件上，从而产生正比于声强的电流，推动音响装置将声音复制出来。由于技术上的困难，贝尔本人放弃了“光电话”。不过，光电话仍然得到一定的应用，至少在第二次世界大战中，不论在军舰上还是在商船上，都还普遍使用“光电话”进行信息交换。

本世纪六十年代，科学家们在激光的基础上开

始了新的光通信研究。人们最先提出用“气管光导”的方法来传递信息。他们将光束注入充满气体的导管，并使气管在径向造成一个温度梯度，从而使气体的折射率沿径向有一梯度，以使激光束在气管内产生全发射，使它始终不逾越气管，最后到达信息接收终端。接着，有人又提出用光导管的方法来引导激光，在光导管内壁镀上一层银，让激光来回反射沿光导管到达终端。这两种光通信方法都未能推广，原因在于这些系统复杂，而且造成光能大量损失。

利用激光在大气中进行通信也是一种通信方法。科学家们经过大量实验发现，在地球采用这种通信方法仍然有很大困难。恶劣的天气会严重影响光通信的质量，大雾会把激光完全拦断，温度梯度会把激光束撕裂成若干条细丝。不过，由于激光具有单色性和方向性等优点，科学家们已研制成功激光雷达。目前激光雷达已普遍用于导弹制导和公害监测，以及地震预报等方面。举两个例子来说，美国加州的圣安德列斯断层是世界上著名的大断层，自从1838年产生第一次滑移后，在短短地一百多年内就导致了数十次大、小地震，曾把斯坦福大学的校门震倒。几乎将旧金山夷为平地。多少年来人们

对它怀着恐惧的心理，因为还没有一种方法来精确测量断层滑移的速度。从1983年开始，美国用激光测距的方法来监测滑移的情况，才使人们从这种惶恐中解放出来，同时也给一些粗心大意的人敲了敲警钟。斯坦福原子能中心原来就建在断层上，一旦地震爆发，难免灾上加灾。在美国有关部门敦促下，他们才决定另选新址。另一个例子是月球测距。现在美国科学家已经能够向月球发射方向性极好的激光，激光束被阿波罗飞行员安装在月球上的平面镜反射回来。他们用这种方法测出的月球距离至多只有几厘米的误差。激光在穿透大气层进入太空比用于地面通信容易得多，这就为激光卫星通信创造了条件。目前已有人开始研究大功率激光器来进行地面—卫星—地面和卫星—卫星的通信。卫星与潜艇之间的激光通信联络也是其中一项重要内容。

众所周知，金属可以导电，却不能导光；相反，电介质不能导电，但却能导光，如玻璃、塑料就具有这种能力。人们出于这种对称现象的考虑，很自然要想到用某种透明的介质来传导光信息。最早明确提出光纤波导概念的是英国电信实验室的华人高氏（K.C.Kao）和霍克曼(G.A.Hockman)。他们在1966年发表于英国《电气工程师学报》上题

为“光频的电介质纤维表面波导”一文中，分析了玻璃纤维用于传导激光的可能，指出：只要光纤的能量损失低于每公里20分贝，光纤传导光信息的容量就会远远大于同轴电缆所传递的电信息。电子在金属中的传导靠电场的作用；而光束在玻璃纤维中的传导靠的是全反射，玻璃折射率大于空气的折射率，只要保证入射光线与纤维轴线的夹角不大于某一角度，光总不会从纤维表面溢出，但是光能却被玻璃本身所吸收。在高氏和霍克曼提出他们理论的时候，光纤传输能量的损失高达每公里1000分贝。激光根本无法通过这样的光纤，因为光在通过一公里后只剩下输入能量的10^{-100}。第一种可用于激光通信的光纤是阔宁玻璃公司在1970年拉制成功的，这种光纤的能量损耗已降低到每公里20分贝的程度。接着，日本薄玻璃板公司和美国贝尔电话实验室又制造出能量耗损只有一分贝梯度型多模光纤，激光在这种光纤中传输一公里后只损失了能量的20%。1975年，阔宁玻璃公司建立起光纤工厂，专事生产通信用的各种光纤。

1976年，贝尔系统（包括贝尔电话实验室和西方电气公司）在乔吉亚洲亚特兰大进行了首次数字光纤电话通信试验。他们用直径为半英寸的光缆将

相距7公里的两个电话交换站连接起来。这根光缆由两根光纤条带组成，每个条带含有十二根象头发丝一样细的光纤。每根光纤信息容量为44.7兆比特/秒。按照每路电话的信息容量64千比特/秒（一个基群）来算，一根光纤同时能载672路单向电话。那么，这24根光纤就能同时载运672×12路，即8,064路双向电话。继贝尔系统这次试验成功后，美国第一个实用光缆通信系统在芝加哥于1979年投入使用。现在美国已经能够制造能量耗损为每公里0.2分贝的光纤。根据一些报导，如果采用一些非氧化物的材料，还可能制造出能量耗损为每公里0.01分贝的低耗光纤，这种光纤可用来实现远距离无中断的光纤通信系统，如海底光缆通信系统。在八十年代初期，贝尔系统已经达到在100公里传输容量为140兆比特/秒和在60公里传输容量为565兆比特/秒的水平，他们正在向远距离传输容量为1千兆比特/秒的水平推进。目前，美国已经兴建和正在兴建几项大的光缆工程。一是所谓东北走廊光缆通信工程。这个通信网将华盛顿、费城、纽约、康涅狄格、波士顿等东北部近十个最繁华的城市联接了起来，全长1千多公里，可通8万路电话，已于1984年全线完工。第二项是西海岸光缆工程，

全长也在一千公里以上，预计1986年可以投入使用。第三项工程，是大西洋海底光缆工程，该通信光路全长5,747公里，可通4万路电话，拟采用无中继直通的联接方式，定于1988年完成。第四项是与日本合作的太平洋海底光缆工程，可通4千路电话，连接美国和日本，预计1990年可以完成。

在光纤通信领域，日本仅次于美国，它的某些单项技术还超过了美国。例如，他们已经能制造出100公里的长光纤。日本可谓千岛之国，地震、雷电频频。由于光纤通信不受电磁干扰，日本就决定大力发展光纤通信，并拟定在2000年实现光纤通信化。日本在发展光缆通信时，把重点放在实现信息综合服务方面，即用光纤通信来实现声音、文字、数据和图象的综合处理。日本重视光纤通信的另一个原因，是因为用光缆比用电缆来连接诸岛更为省钱，由于这种原因，他们与美国准备铺设太平洋光缆的同时，还逐步铺设国内的海底光缆。

西欧的光纤通信工程，均受各国邮电部直接领导。英国很可能是最早实现无铜缆的国家。英国电信公司早已宣布，从1985年后不再订制同轴电缆。英国政府希望在1991年全国有一半通信电缆被光缆所代替。西德在研究光纤通信方面采取稳扎稳打的

政策，他先进行光纤的模拟信号传输，然后再过渡到光纤数字通信。例如，西柏林在1981年建立起一条仅有2.5公里长的模拟光纤广播网，该网使用的光缆的每根光纤，可以同时传输两个75兆赫兹的电视信道和两个调频立体声波段。这是一个宽带系统，对信息中心和用户终端设备稍加改造，还可以用来开展双向电话、电视电话及可视数据业务。

我们常说的“信息爆炸”，最初出现于一些技术史家和技术社会学家的笔下，生长在通信技术不发达国家的青年，对此也许不会有深刻的认识。就是在通信技术发达国家生长起来的青年也未必真能有所体会，他们从降生那天就处在充满电话、电视、电子玩具、可视数据设备的电子小屋中，从小就耳濡目染父母亲怎样操作电子器件与社会取得联系。当他们稍长后，他们就能自己动手搬弄电子音响设备或电视玩具进行娱乐。在他们成长为青少年后，不少人就去光顾那些所谓“计算机爱好者商店”，买些集成块之类的东西，回来自己安装微处理机或存贮器。就在他们这种成长过程中，光纤在代替铜芯电缆，信息量在增加；而他们的技术或者技能也以同样的速度增长着。因此，对他们来说，所谓信息爆炸只不过一种连续进化的结果，而不是

什么突变。

但是，如果从历史和技术两个方面来分析，从七十年代到现在，信息量确实在迅速增长。在西方一些先进国家，近十年来，信息量平均3～4年要增长十倍。这种增长速度远远超过了本世纪头六十年。在马可尼的时代，无线电通信采用千米长的长波通信，即通信频率处于10千赫兹的量级。在二十年代出现了短波无线电通信，波长进入百米阶段，即通信频率处于100千赫兹的范围。在这二十年中频率只提高了一个数量级。六十年代的微波通信和卫星通信，将波长推进到厘米波段（如国际通信卫星1～4号采用6/4千兆赫兹和14/12千兆赫兹），这四十年中频率提高了4个数量级，平均每十年一个数量级。自1976年光纤通信诞生到现在几年中，光通信将频谱一下子就提高到红外频谱区间，相对于六十年代的微波通信又提高了4个数量级。就拿现在的远距离光纤使用的1.5微米的“长波长”光波来说，这个波长仅是马可尼使用的波长的10^{-8}，也就是说我们现在使用的频率比马可尼时代所使用的频率整整提高了九个数量级。

在通信技术中，工程师们常用频道带宽与通信线路长度之积来表示通信线路负载信息量的能力。

对于微波电话，这个指数一般为50兆赫兹公里；对于光纤，这个指数为100千兆赫兹公里。这即表明，对于同样长的微波电路和光缆通信电路，后者负载的信息量是前者的两千倍。由此可见，光纤通信具有巨大的潜力，人类将沿着这条通向未来的信道，继续挖掘无可穷尽的信息资源，来弥补可穷尽的能源和资源的不足，来创造新的思想观念和社会结构。

结束语

一九八四年初电子工业部下达了“现代电子工业发展模式”的课题，我有幸被指令完成这项研究。经过数月在浩如烟海的资料堆里检索、查阅，大体理出了一个历史线索。我受到一种使命感的支配，决心为国内读者写一本电子工业和技术发展史的书，恰逢《走向未来》丛书约稿，我就把自己的努力纳入了丛书的方向。

如何评价技术？如何评价技术与人的关系和技术与环境的关系？这是值得探讨的问题。我始终认为几何级数的增长率（即指数增长率）是一种普遍的现象，它不仅体现于生物的繁衍、人口的增长，而且也在许多技术领域体现出来。世界人口仍以每年百分之二的速度增长着，平均三十五年人口就要翻番。如果保持能源消费的人均数值不变，三十五

年后我们消费的能源也会增长一倍，由于燃烧化石燃料所造成的环境污染、“温室效应”大体也会按这种速率来恶化环境。如果单从这样的角度看待未来，世界经济将终有一天会崩溃。由此看来，人口按指数规律的膨胀和环境按指数规律的恶化，必须受到某种非线性的因素打断才不致于导致世界经济的崩溃。例如，用节育来缓慢人口的增长，用信息的力量来扼止能源的狂滥消费，等等。这些非线性因素，一有社会的道德律，二有当代的科学技术。但是，技术潜力的发挥，在与经济和政治环境协调的情况也多数按照几何级数的规律来增长的（如集成电路集成度逐年翻番），而且这种速率往往超过人口的膨胀速度，这种非马尔萨斯人口论在今日信息时代已经部分得到证明。这本是好事，但却有人为此忧虑，他们害怕技术反过来会加害于人类自身，如原子弹会毁灭人类，“机器人社会”会反对人类社会，等等。世界上绝对没有完美无缺的事情，也绝对没有完美无缺的个人。原子能掌握在好战者手上自然没有好的结果，如果有人制造有意伤人的机器人，机器人必会伤人。大自然虽然美好，但却不时发生地震、海啸、洪水。如果有人指责技术会破坏人类，他们必定忘记了在技术诞生前地球

上已有99.9%的物种已经绝灭。试问，人类在这个灾难重重的自然环境中为何得到得天独厚的发展？原因在于人类掌握了科学技术。技术站在人与环境之间起着保护人类的作用。不能正确评价技术倒不是人的愚昧，对技术作出错误估价的人往往是些能人。哥德认为望远镜和显微镜会歪斜视觉，反对使用它们；爱迪生因认为交流电危险，而反对推行交流电发配制。正是因为这种原因，对于技术同人的关系、技术同环境的关系的评价，才成了当前的技术社会学的一个主要问题。

技术潜力之所以按几何级数规律地发挥，其后面必有某种永不停息的动力。这种动力来自于人类对生活的追求。当电视刚刚问世时，美国无线电公司（RCA）的经理们就已看到了这种前景：美国有三千万个家庭“电影院”潜在地等待着建立。当电弧灯照亮纽约街道和广场时，爱迪生就想到：电也可以给千家万户带来光明。结果发明了白炽灯。这是一个曾被轻视过的问题，这是一种曾被空头政治家起劲反对过的思想。人类没有技术的确也可以生活，但技术绝对不能脱离生活。原始人没有技术走过来了；人类也可以把某种发明永不停止地使用下去，西汉铁犁和东汉龙骨水车不正是被我们沿用了

近两千年吗？在我国，慢速人力车和快速大卡车并道而行的现象还比比皆是，如果有人建议政府发布命令禁止使用人力车，一定会遭到传统势力的反对。一些人殊不知技术革命如同其它革命一样，总是要牺牲一部分暂时利益来谋取长远利益的。如果禁止使用人力车，一部分人失去工作，一部分人要重新就业。如果没有这部分微不足道的利益的牺牲，又怎能形成发展先进交通工具的生活动力呢？半导体三极管问世后，从事电子管研究和制造的工程师们受到威胁，然而美国、日本、西欧和苏联毕竟顺应着这股技术革命的浪潮走了过来，并迎来了超大规模集成电路的时代。他们的成功，在于他们有一大批象爱迪生、肖克莱、诺伊斯一样的生活潮流的引导者。

七月十七日接到《丛书》编辑部来信，要求我为这本小册子补写前言和结束语。为不流人俗套的格式，我就把书中散乱穿插着的一些思想和观点融合在一起，这样能让读者更好地了解我的思想，或引起共鸣、或引来批评。我不敢冒称懂得了社会学、经济学和哲学，但我的确愿意作为一名勤奋的学生，做一点儿独立思考。

如果这本小册子能赢得读者而算作成功的话，

那末，我要深切感谢中国科学院物理研究所李国栋先生对我的培养，深切感谢桂林电子工业学院院长裘明信教授，他们对我的关怀和鼓励是我完成这本书的重要保证。此外，电子工业部749所胡汉泉先生，桂林电子工业学院易寅亮先生、陶栻教授、韩松才、唐林芳等同志，曾给予我大力支持，在此一并致谢。

宋德生

一九八五年七月十九日于桂林电子工业学院羊角山宿舍